

Treball de Fi de Màster

**Màster Universitari en Enginyeria Industrial
(Especialitat Energies)**

**Aplicació de lones fotovoltaïques en una
estructura de càmping desmuntable**

MEMÒRIA

Autora: Cèlia Garriga Bonnín
Director: Emilio Hernández Chiva
Convocatòria: Gener 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest projecte té com a objectiu fonamental el disseny d'un sistema d'obtenció d'energia fotovoltaica integrada en una estructura de càmping desmuntable. L'energia obtinguda mitjançant aquest sistema serà destinada a l'autoconsum i haurà de cobrir les principals necessitats energètiques de la zona d'acampada on s'allotgen els participants dels esdeveniments organitzats al Circuit Parcmotor de Castellolí. Més concretament, es dissenyarà per la competició universitària del *Smart Moto Challenge*, que té lloc durant una setmana sencera del mes de juliol, i s'integraran en el sistema bateries usades de vehicles elèctrics.

En primer lloc, es presenta una descripció detallada del problema que es vol solucionar i de la informació de partida, a més de les característiques desitjades i d'una proposta bàsica del sistema solució que es dissenyarà en el projecte. Seguidament, es fa una explicació de la situació energètica a nivell mundial i el paper que hi tenen les energies renovables, parant atenció a la posició d'Espanya i el marc normatiu que afecta a l'energia fotovoltaica a Catalunya. Es descriu també el funcionament dels sistemes fotovoltaics i de tots els elements necessaris per a l'autoconsum, així com l'estat de l'art i característiques dels diferents tipus de tecnologies utilitzades per la captació de la radiació solar i l'emmagatzematge d'energia elèctrica.

A continuació, s'estudia la demanda energètica segons la ocupació prevista i l'ús concret que se'n farà de l'energia obtinguda, així com la quantitat de radiació solar disponible en el terreny de Castellolí. L'acotació del sistema que solucionarà el problema plantejat es fa comparant principalment diferents opcions de mòduls fotovoltaics flexibles i jugant amb la modificació de l'estructura. Es determinen també les bateries, l'inversor i el regulador de càrrega a utilitzar, detallant-ne les seves característiques bàsiques.

El sistema solució proposat està format per mòduls fotovoltaics flexibles de silici amorf amb un rendiment del 7%, muntats sobre una carpa de 8x12 m a la qual se li ha modificat la coberta per tal d'obtenir la màxima energia possible durant l'estiu. L'energia no utilitzada directament s'emmagatzemarà en bateries reutilitzades *Nissan Leaf*, proporcionant energia per la il·luminació, cuina, càrrega d'aparells electrònics i dutxes.

Finalment, s'estudia l'impacte ambiental causat pel sistema solució mitjançant un anàlisi del cicle de vida i concretant les emissions de diòxid de carboni i kg de combustible estalviats, en comparació amb un sistema similar que utilitzi combustibles fòssils. En l'estudi econòmic es detallen tots els costos durant les diferents fases del projecte i se'n fa un balanç al llarg de la vida útil del sistema per tal de determinar-ne la seva rendibilitat.

Sumari

SUMARI	4
1. PREFACI	6
2. INTRODUCCIÓ	7
2.1. Objectius del projecte	7
2.2. Abast del projecte	7
3. DESCRIPCIÓ DE L'ÀMBIT D'ACTUACIÓ	8
3.1. El Parcmotor de Castellolí	8
3.2. Descripció de les característiques principals	9
3.3. Estimació preliminar de l'ocupació i ús	10
3.4. Proposta bàsica d'equipaments i distribució de l'espai.....	11
4. ENERGIES RENOVABLES I ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
4.1. Situació energètica a nivell mundial i estatal	13
4.2. Situació actual de les energies renovables.....	18
4.2.1. Les energies renovables a nivell mundial	18
4.2.2. Tendències i futur de les energies renovables	19
4.3. Estat de l'art de l'energia solar fotovoltaica.....	20
4.3.1. L'energia fotovoltaica al món	20
4.3.2. Marc normatiu d'energia solar fotovoltaica a Catalunya.....	22
4.4. Tecnologies solars fotovoltaiques.....	23
4.4.1. Principi de funcionament del sistemes fotovoltaics	23
4.4.2. Tipus de tecnologies de captació	25
4.4.3. Tipus de tecnologies d'emmagatzematge.....	29
4.4.4. Altres tecnologies auxiliars.....	30
5. DETERMINACIÓ DE L'ÀMBIT D'ACTUACIÓ	32
5.1. Estudi de la radiació solar al terreny	32
5.1.1. Sistema Geogràfic d'Informació Fotovoltaica (PVGIS).....	32
5.1.2. Estudi de l'energia fotovoltaica a Castellolí	34
5.2. Estimació de l'ocupació general del Parcmotor	38
5.3. Estimació de l'ocupació i l'ús en el <i>Smart Moto Challenge</i>	40
5.4. Estimació de la demanda energètica.....	41

6. ACOTACIÓ DEL SISTEMA SOLUCIÓ	44
6.1. Sistema de captació fotovoltaic	44
6.2. Tipus d'estructura	47
6.2.1. Coberta amb dues superfícies inclinades a 35°	48
6.2.2. Coberta d'una sola pendent $h=4$ m	49
6.2.3. Estructura amb inclinació regulable	50
6.2.4. Annex lateral amb inclinació variable	53
6.2.5. Estructura regulable automàtica.....	54
6.2.6. Comparació de les estructures.....	54
6.3. Sistema d'emmagatzematge d'energia	56
6.4. Regulador de càrrega i inversor	57
7. SISTEMA SOLUCIÓ CONSIDERAT	59
7.1. Detalls del sistema solució	59
7.2. Càlcul de pèrdues	60
7.3. Planificació de la implementació	62
8. IMPACTE AMBIENTAL	64
8.1.1. Reducció de la petjada ambiental en energia	64
8.1.2. Anàlisi del Cicle de Vida.....	65
9. ESTUDI ECONÒMIC	67
9.1. Pressupost	67
9.2. Rendibilitat del projecte	69
CONCLUSIONS	71
BIBLIOGRAFIA	72
Referències bibliogràfiques.....	72
Bibliografia complementària.....	72

1. Prefaci

Aquest projecte ha estat proposat pel professor Emilio Hernández com a ampliació d'un Treball de Fi de Grau del quadrimestre anterior titulat *Disseny d'un càmping sostenible al Circuit de Castellolí*, realitzat per Yichi Zhang.

Emilio Hernández forma part del departament d'Enginyeria de Projectes de l'ETSEIB i la seva afició pels esports de motor l'ha dut a ser un dels principals organitzadors del *Smart Moto Challenge*, un esdeveniment internacional que atreu cada any més de 300 participants. Durant una setmana, equips formats per estudiants universitaris d'enginyeria tenen la oportunitat de posar a prova les seves creacions i de presentar el projecte en el que han estat treballant durant l'any, a la vegada que prenen part en diversos seminaris impartits per professionals de l'automoció.

L'any passat es va celebrar la sisena edició del *Smart Moto Challenge*, per primera vegada al Circuit Parcmotor de Castellolí. Els participants es van allotjar a la zona d'acampada del mateix parc, i per a cobrir la demanda d'electricitat es va contractar un generador portàtil alimentat amb dièsel, ja que la zona d'acampada no disposa de connexió a la xarxa elèctrica. Aquest any, el professor Hernández s'ha fixat com a objectiu abandonar les energies fòssils i cobrir les necessitats energètiques utilitzant d'energies renovables.

El treball de Zhang és un estudi general sobre les dimensions i distribució del càmping, l'estimació de les necessitats energètiques i les possibilitats d'ús d'energies renovables. Amb la idea d'acotar i desenvolupar algunes de les propostes per convertir aquesta zona d'acampada en un indret sostenible, el professor Hernández va decidir involucrar a alguns estudiants més en el projecte. I és d'aquí d'on sorgeix aquest treball, que donarà una solució concreta per a la generació d'energia elèctrica a partir de la instal·lació de lones solars fotovoltaïques en una estructura d'acampada desmuntable. El disseny del sistema respondrà a les necessitats energètiques d'aquest esdeveniment concret a Castellolí, però serà versàtil i adaptable a altres projectes que requereixen estructures similars, com per exemple fires itinerants, campaments d'escoltes i guies o infraestructures bàsiques en camps de refugiats.

2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és proporcionar una solució viable que satisfaci les necessitats d'energia elèctrica del càmping del Circuit Parcmotor de Castellolí durant la competició universitària del *Smart Moto Challenge*, fent ús de lones solars fotovoltaïques sobre una estructura de càmping desmuntable.

A la vegada, es buscarà donar una segona vida a les bateries dels vehicles elèctrics, incorporant-les al sistema un cop aquestes han perdut una part de la seva capacitat i que, tot i no ser adequades per a l'automoció, encara no han arribat a la fi de la seva vida útil.

Es dissenyarà un sistema sostenible de generació d'energia autosuficient, mòbil, resistent, viable i versàtil, que no només solucionarà el problema del subministrament energètic pel qual s'ha ideat, sinó que servirà de base per crear altres propostes amb requeriments similars.

2.2. Abast del projecte

A l'inici d'aquest projecte es realitzarà una recerca d'informació sobre l'estat de l'art dels sistemes de captació d'energia solar fotovoltaica i sobre el seu ús en projectes similars, parant especial atenció a aquells que utilitzin lones fotovoltaïques.

El projecte engloba l'estudi de possibles solucions, des d'un punt de vista tècnic, econòmic i mediambiental, amb variables que inclouen les característiques de les lones fotovoltaïques, l'emmagatzematge d'energia i el disseny de l'estructura, entre d'altres. La comparació d'aquestes opcions conduirà a la proposta d'un sistema que s'adeqüi a les necessitats del sistema de forma òptima.

Queda fora de l'abast del projecte l'estudi d'altres energies renovables que puguin complementar l'aportació d'energia del sistema fotovoltaic, degut a que ja va ser realitzat en el projecte precedent. A més, aquest serà un projecte teòric, per tant la implantació real del sistema i la construcció d'un prototip del sistema per a verificar-ne el seu funcionament no s'inclouran dins d'aquest treball de fi de màster.

3. Descripció de l'àmbit d'actuació

3.1. El Parcmotor de Castellolí

Castellolí és un petit municipi de la comarca de l'Anoia, situat a l'est d'Igualada i a uns 60 km al nord-oest de Barcelona. Allà s'hi troba des del 2009 el Parcmotor Castellolí, un recinte dedicat als esports de motor, que acull circuits de velocitat, kàrting, motocròs, una escola de conducció i una zona per a tot terrenys i trial. A més, té un espai dedicat especialment a la formació d'esportistes i a la realització de competicions oficials en les diferents disciplines.

En els esdeveniments i competicions organitzades al Parcmotor s'hi reuneixen participants i espectadors, que comparteixen zona d'acampada dins del parc si la durada és de dos dies o més. Aquesta zona és la que queda marcada de color vermell en el plànol de la Figura 3-1, amb una extensió total aproximada de 3.500 m².

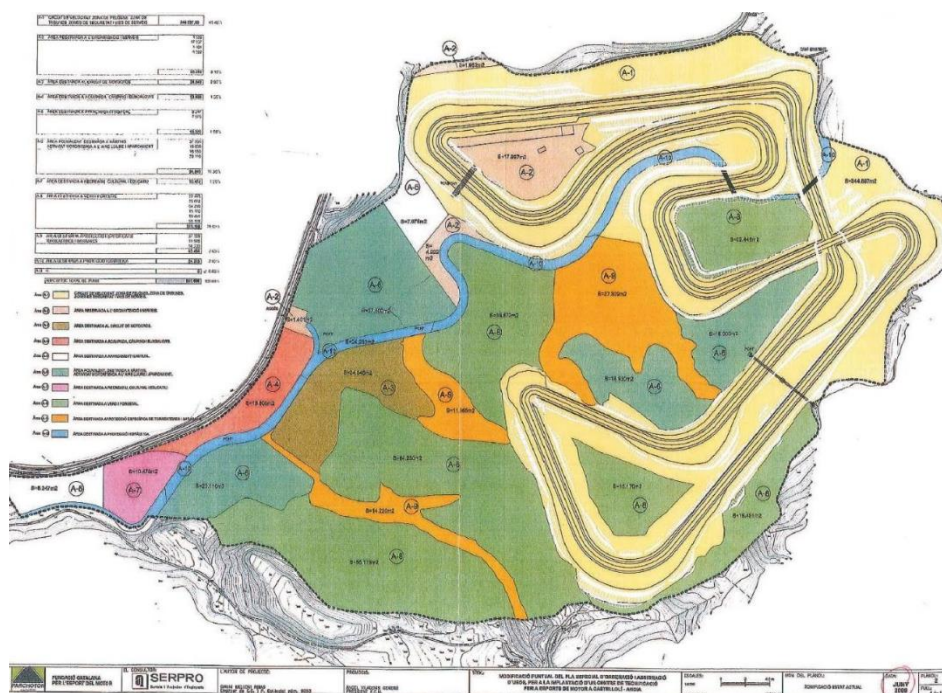


Figura 3-1. Plànol del Parcmotor de Castellolí

Els campistes tenen la opció de llogar grans carpes desmuntables per oferir serveis comuns principalment d'esbarjo, amb il·luminació i preses de corrent en els esdeveniments de gran afluència de participants, a més de blocs prefabricats amb serveis i dutxes. Com que la zona d'acampada no té connexió a la xarxa elèctrica, en ocasions anteriors s'ha fet us de sistemes de producció d'energia portàtils que utilitzen combustibles fòssils com a font primària

d'energia, per a cobrir les necessitats d'aquests esdeveniments puntuals. Entre els objectius principals per al futur del Parcmotor de Castellolí s'hi troben l'ús d'energies renovables com a principal font energètica i la introducció de noves tecnologies per gestionar el consum energètic de manera més eficient.

El Parcmotor acull algunes de les competicions en les que participen equips d'estudiants de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, com és el cas del *Smart Moto Challenge*, una competició universitària a nivell internacional on equips formats per estudiants d'enginyeria posen a prova els seus prototips de motos elèctriques. És gràcies a la relació entre el parc i l'escola que alguns alumnes han contribuït a millorar alguns aspectes del Parcmotor en relació als seus objectius energètics amb els seus treballs de fi de grau i màster.

3.2. Descripció de les característiques principals

Les necessitats energètiques seran molt variables, ja que dependran majoritàriament de l'ús que se'n faci per cada esdeveniment de la zona de serveis comuns dins del terreny d'acampada. Tot i així, hi ha certs aspectes que seran comuns en tots els casos. A continuació es descriuen les principals característiques que es desitja que reuneixi el sistema i que serviran de guia durant la realització del projecte:

- **Energèticament autosuficient:** l'energia elèctrica consumida en el sistema provindrà de les lones fotovoltaïques, abastint completament les necessitats dels usuaris. Degut a la variabilitat al llarg del dia de l'energia solar, caldrà tenir en compte un sistema d'emmagatzematge de l'energia.
- **Sostenible:** a més d'utilitzar energies renovables per a l'abastiment energètic, és important tenir en compte la naturalesa i origen dels materials i components utilitzats, prioritzant si és possible aquells que siguin de proximitat i estiguin fabricats èticament.
- **Eficient:** es buscarà obtenir el màxim rendiment possible del sistema de captació fotovoltaic i fer un ús intel·ligent de l'energia obtinguda.
- **Desmuntable:** degut a la puntualitat dels esdeveniments que allotjarà la carpa i l'ús discontinu que se'n farà, una estructura desmuntable que en faciliti el transport permetrà que sigui utilitzada en un major nombre d'ocasions i en llocs diversos.
- **Resistent:** tot i ser desmuntable, l'estructura ha de ser capaç de suportar els esforços als quals estarà sotmesa, preveient possibles condicions meteorològiques adverses i usos puntuals inadequats.

- **Interactiu:** un sistema d'obtenció d'energia que informi als usuaris de manera intuïtiva i simple sobre el consum energètic i permeti regular l'energia produïda i utilitzada, permetrà conscienciar als usuaris sobre la importància de responsabilitzar-se del seu consum i farà que l'intentin reduir si és possible.
- **Viable:** tant a nivell tècnic com econòmic, es buscarà una solució que integri totes les característiques mencionades tenint en compte que el nivell de complexitat tècnica no sigui excessivament elevat i que sigui econòmicament rentable.
- **Versàtil:** tot i que el sistema es dimensionarà per a cobrir les necessitats específiques dels esdeveniments del Parcmotor de Castellolí, es preveurà la possibilitat d'usos diversos i l'adaptabilitat a diferents esdeveniments i localitzacions.

3.3. Estimació preliminar de l'ocupació i ús

Al llarg de l'any, el Parcmotor de Castellolí acull múltiples esdeveniments, concentrats principalment durant els caps de setmana durant les èpoques de primavera, estiu i tardor, amb una afluència de participació molt variada. Per a poder dissenyar un sistema caldrà acotar les característiques dels esdeveniments, acotant una ocupació mitjana, horaris i tipus d'ús.

Pel que fa a l'ocupació, hi poden haver petites trobades on només hi participin unes 20 persones fins a grans esdeveniments que reuneixin a més de 500 persones. Tenint en compte que les trobades multitudinàries només tenen lloc en ocasions especials, es considerarà que la mitjana d'ocupació es d'aproximadament 60 persones per cap de setmana. Si es fan trobades on es preveu un nombre de persones molt més elevat, es pot considerar instal·lar més d'una carpa de serveis comuns, multiplicant així la capacitat.

Els usuaris dels serveis comuns instal·lats a la carpa dissenyada seran participants o espectadors de les competicions del Parcmotor, que s'allotjaran en la zona d'acampada. El parc ja compta amb una clínica i servei mèdic, una àmplia nau polivalent que respon a les necessitats tècniques de les competicions, i diverses sales i boxes on s'hi poden realitzar conferències i esdeveniments amb càtering. També hi ha una zona de trobada i restauració oberta de dilluns a diumenge (excepte dimarts) de 8h a 17h, amb un bar-restaurant cobert i terrassa. Tenint en compte tots els serveis que ofereix el parc, es pot considerar que les necessitats dels usuaris es concentraran principalment a la tarda-vespre, on provablement es trobaran per sopar, fer reunions informals o relaxar-se. Els serveis comuns poden incloure una zona de chill-out amb sofàs, pufs i taules baixes, un espai de menjador amb taules i bancs plegables, i una cuina bàsica amb nevera, fogons, espai de treball i armaris amb estris d'ús

compartit. Segons l'ús que se'n faci, es requeriran potències més elevades i major fiabilitat. En conseqüència, es dissenyarà el sistema tenint en compte les opcions amb un major grau d'electrificació, de manera que sigui capaç de proporcionar l'energia necessària en qualsevol cas.

Més endavant es farà un estudi més detallat de l'ocupació mitjana prevista segons l'època de l'any, el dia de la setmana i la distribució de càrregues durant el dia, per tal de poder fer estimacions més precises i amb la intenció de no sobredimensionar el sistema.

3.4. Proposta bàsica d'equipaments i distribució de l'espai

Donant un primer cop d'ull als tipus de carpes de grans dimensions per a esdeveniments puntuals disponibles al mercat es troben principalment dues opcions: carpes de mesures fixes i carpes modulars. Les carpes modulars poden ser llogades durant varis dies, i presenten l'avantatge de poder escollir l'amplada del pòrtic i la llargada en trams de longitud determinada, donant la opció d'adaptar les dimensions segons el nombre d'assistents a cada esdeveniment. D'altra banda, les carpes amb mesures fixes es poden llogar però també comprar fàcilment. Entre els principals proveïdors de carpes d'aquest tipus a Catalunya, les dimensions estàndards més grans que es solen trobar són de 8 o 9 metres d'amplada i de 12 o 16 metres de llargada.

En els dos casos el sostre és simètric respecte el pla central longitudinal, format per dues superfícies planes d'igual inclinació amb la part més elevada situada al centre de la carpa. Aquest fet fa que la meitat de la superfície quedi desaproveitada en la instal·lació de lones fotovoltaïques, ja que si s'orienta una cara de la coberta de manera òptima, l'altra cara tindrà una inclinació i orientació molt desfavorable per a l'aprofitament d'energia solar. Per aquest motiu, tenir una carpa de grans dimensions en propietat pot resultar més útil a la llarga, ja que permetrà fer modificacions a l'estructura que faran possible l'aprofitament total de la superfície de la coberta. Una altra opció podria ser dissenyar l'estructura des de zero, però de moment s'utilitzarà una carpa estàndard de 8x12 m com a referència.

Un primer model de distribució de l'espai tenint en compte la coexistència de 3 espais amb funcions diferents pot ser el següent:

- **Cuina:** espai amb els equipaments bàsics característics d'una cuina, que permetrà l'ús simultani a dos grups diferents. Estarà separada en dues zones que disposaran de dues aigües, una placa de 4 fogonets situada en una illa amb espai de treball, dues neveres i espai d'emmagatzematge d'estris de cuina sota de les superfícies de

treball. L'ocupació estimada és de 4 persones, amb una superfície total de 24 m² (3x8 m) que suposa el 25% de l'espai total.

- **Menjador:** aquesta zona podrà ser utilitzada com a menjador, però també com a punt de reunió, i consistirà en un espai central amb quatre taules desmuntables i dos bancs cadascuna. Les taules considerades són taules plegables de fusta de 70x220 cm amb una capacitat màxima de 10 persones cadascuna. Les dimensions de la zona de menjador són de 5x8m, fent un total de 40 m² i el 40% de l'espai total, amb una ocupació estimada de 32 persones.
- **Chill-out:** zona destinada a l'esbarjo i relax dels usuaris, separada en dos espais per a poder allotjar a dos grups diferents i equipada amb sofàs de colze, puffs i una taula baixa per cada zona. La capacitat prevista per aquesta zona és de 14 persones, amb unes dimensions de 4x8 m, que suposen un total de 32 m² i el 35% de l'espai total.

S'estima que en condicions d'utilització normal i hora punta, la carpa allotgi de mitjana unes 50 persones, amb una capacitat màxima de 66 persones i ocupant una superfície total de 96 m². Tot i així, s'espera que en general l'ocupació mitjana no superi el 75% de l'ocupació en hora punta.

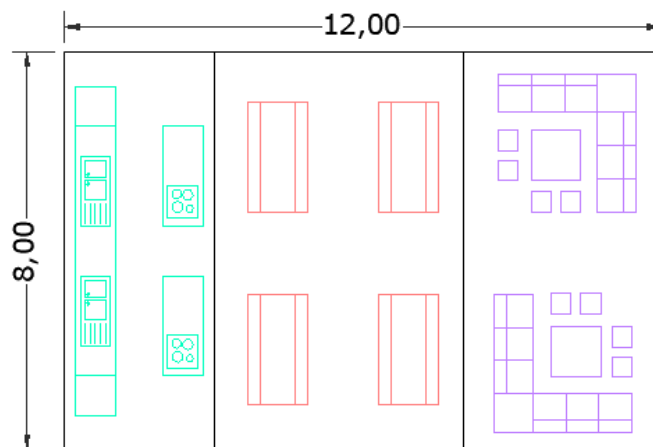


Figura 3-2. Proposta de distribució de l'espai en planta (dimensions en metres)

4. Energies renovables i energia solar fotovoltaica

4.1. Situació energètica a nivell mundial i estatal

L'accés global a l'energia és un dels principals reptes de la societat actual, ja que és fonamental per al benestar humà, el desenvolupament econòmic i la reducció de la pobresa al món. Tot i així, cal tenir en compte la naturalesa de les fonts d'energia utilitzades i els impactes ambientals que aquestes produeixen. Els actuals sistemes energètics estan predominats per l'ús de combustibles fòssils que produeixen grans quantitats de diòxid de carboni i altres gasos d'efecte hivernacle, causants principals de la contaminació atmosfèrica i del canvi climàtic.

Per tal d'assegurar un futur sostenible es necessari conèixer com ha estat l'evolució històrica de l'energia a nivell mundial, quins són els principals agents que regulen i determinen la direcció que prenen els mercats energètics i quina és la seva situació actual global i regional.

La Figura 4-1 mostra com ha canviat la producció d'energia mundial durant entre el 1800 i el 2017, en termes de quantitat i font energètica primària, mesurada en terawatts per hora anuals. Es pot observar com fins al 1870 gairebé tota l'energia produïda a nivell mundial provenia de la combustió de fusta i altres matèries orgàniques, el que es coneix com a biomassa tradicional. Aquest tipus d'energia s'obté de manera no controlada i emet grans quantitats de gasos nocius, pel que no és pot considerar energia sostenible i generalment no s'inclou dins del grup de les energies renovables.

El carbó era utilitzat de manera industrial principalment al Regne Unit i va anar expandint-se fins que a l'any 1900 la meitat del consum energètic mundial provenia d'aquest combustible. Al voltant del 1870 es va introduir el petroli com a font d'energia, i dues dècades més tard s'hi van sumar el gas natural i l'energia hidroelèctrica.

A meitat del segle XX, el consum d'energia seguia augmentant i el mix energètic s'havia diversificat notablement, amb el carbó com a principal font d'energia i un percentatge considerable de petroli i gas natural. Cap al 1960 van aparèixer les primeres centrals nuclears d'escala comercial, amb una forta aposta per part d'un gran nombre de països desenvolupats. A Europa l'energia nuclear té un pes del 30% de la producció d'electricitat des dels anys vuitanta, on França destaca sobre la resta de països amb un 75% de nuclears dins del seu mix energètic.

Durant els últims 50 anys, el consum d'energia ha augmentat exponencialment, dominat encara pels combustibles fòssils. Les energies renovables són relativament noves i malauradament encara representen una part molt petita dins del mix energètic global.

L'energia eòlica, la solar i els biocombustibles moderns no van començar a aparèixer fins a la dècada dels vuitanta. Juntament amb l'energia hidroelèctrica i la resta d'energies renovables, representen menys d'un 5% de l'energia consumida en el món.

Global primary energy consumption

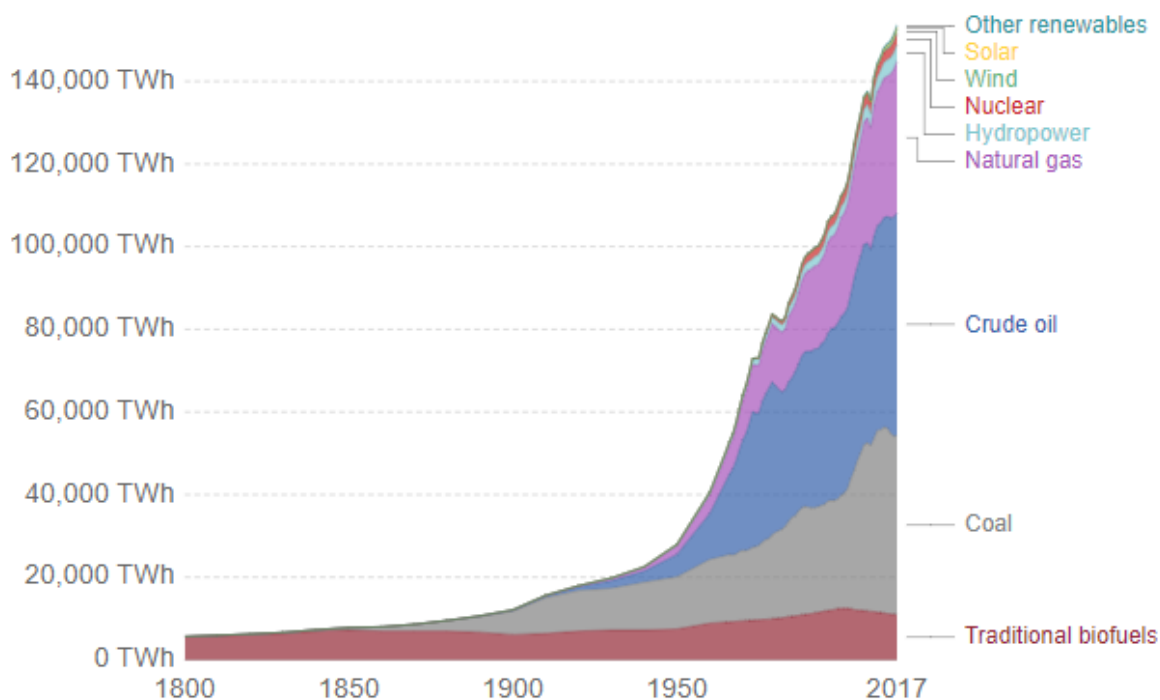


Figura 4-1. Evolució del consum d'energia primària global per origen (Ritchie & Roser, 2018)

Un dels aspectes més destacats del gràfic anterior és l'augment del consum d'energia primària que s'ha multiplicat per deu en només seixanta anys. Per a entendre'n els principals motius, cal donar un cop d'ull al consum energètic separat per regions (Figura 4-2). Aquestes dades no tenen en compte l'ús de la biomassa tradicional, que segueix sent una de les principals fonts d'energia a la major part de l'Àfrica i altres països subdesenvolupats i de la qual no se'n té una informació precisa.

A l'extrem esquerre del gràfic, s'hi troben Amèrica del nord, Europa i Euràsia amb un consum del 80% de l'energia mundial al 1965. A l'altre extrem, els països del sud-est asiàtic (*Asia Pacific*) són ara els principals consumidors d'energia amb un 42% del total mundial, 12 vegades més que 50 anys enrere. Tot i que l'augment del consum energètic és present en totes les regions, es podria dir que les regions més desenvolupades creixen de manera més moderada si es compara amb els països que estan actualment en vies de desenvolupament.

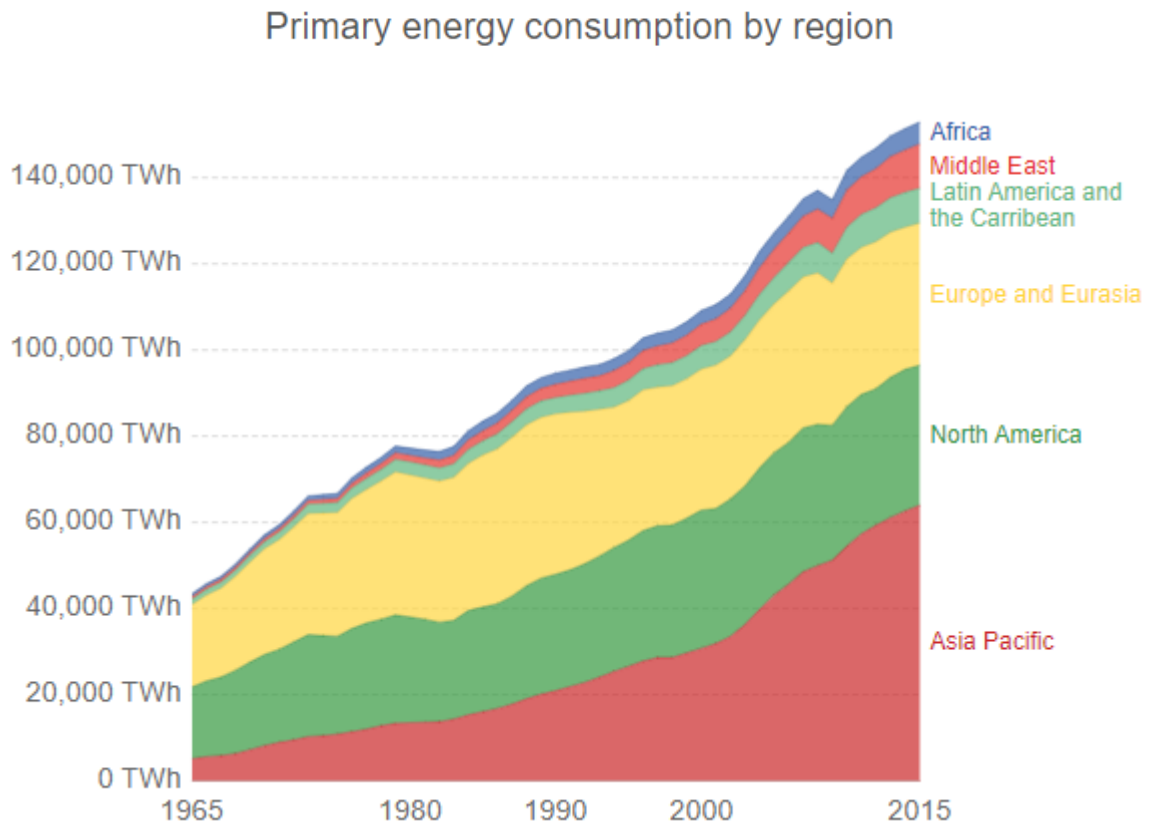


Figura 4-2. Evolució del consum d'energia primària global per regió (Ritchie & Roser, 2018)

El problema és evident quan s'observa quin és el mix energètic actual de cada regió: els països que han vist un creixement més significatiu en el seu consum energètic ho han fet principalment a base de combustibles fòssils. A la Figura 4-3 s'observa que el que els països de l'orient mitjà (*Middle East*) depenen fortament del gas natural (70%) seguit del petroli (25%), i les energies renovables són pràcticament imperceptibles. Al sud-est asiàtic han desenvolupat una mica més les energies renovables en comparació, però el seu consum principal prové del carbó (60%). D'altra banda, els països d'Amèrica llatina han sabut aprofitar els avantatges energètics dels seus recursos hidràulics, que ocupen un 55% del seu mix energètic. A més, compten amb algunes de les centrals hidràuliques amb més potència instal·lada del món.

Les tendències principals a nivell mundial mostren que el gas natural i el carbó són els combustibles dominants per la generació d'energia arreu del món. La part de carbó en el mix energètic mundial s'ha mantingut constant en els darrers 30 anys al voltant del 40%. El percentatge de gas natural ha anat augmentant progressivament, i actualment es troba lleugerament per sota del 25%. El petroli i l'energia nuclear, en canvi, han anat disminuint fins a representar el 4% i el 10% respectivament de l'energia consumida al món. Les energies renovables s'han anat obrint pas a ritme constant durant els últims deu anys, i ja suposen

gairebé el 10% de l'energia primària consumida mundialment.

Sovint quan es parla de l'evolució de les fonts d'energia primària es distingeix entre els països que formen part de l'OCDE (Organització per la Cooperació i Desenvolupament Econòmic) i els que no. El primer grup inclou un conjunt de 37 països (principalment amb un elevat índex de desenvolupament) amb l'objectiu d'estimular el progrés econòmic i l'intercanvi mundial de manera democràtica. En l'energia primària consumida per aquests països hi predominen el petroli i el carbó, però aquests van a la baixa, deixant pas al gas i a les energies renovables. En els països que no pertanyen a la OCDE hi ha un fort augment de la quantitat d'energia consumida, que suposa també un creixement del consum de carbó i petroli.

Regional electricity generation by fuel 2017
Percentage

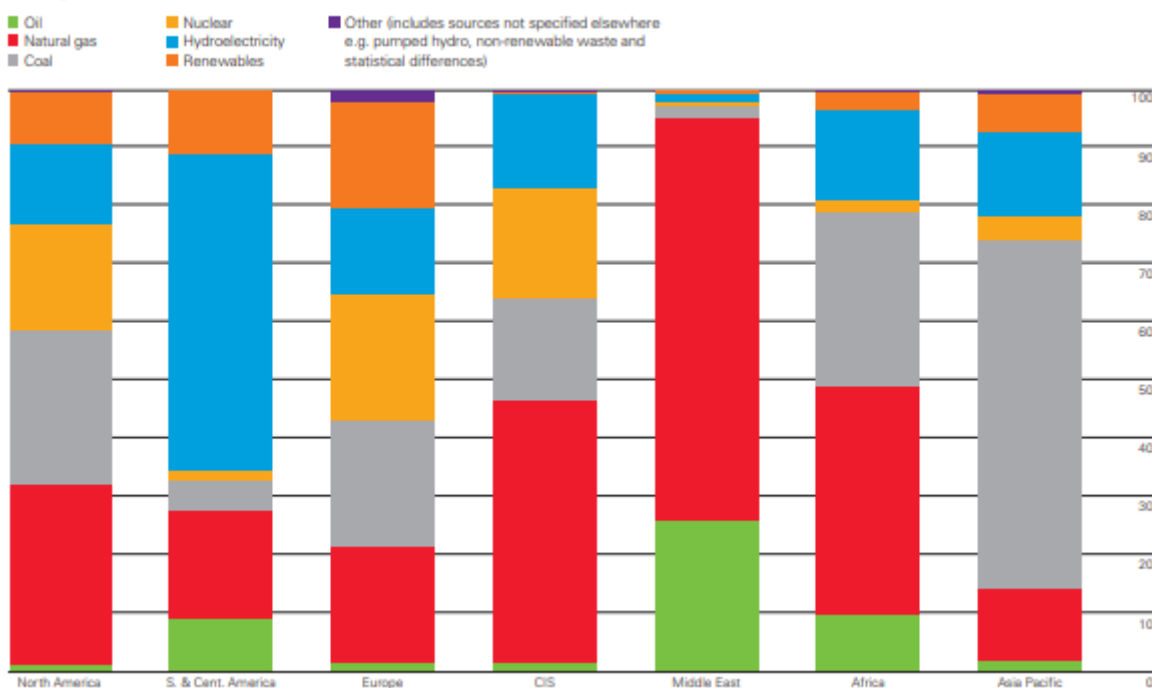


Figura 4-3. Mix energètic del 2017 per regió (BP, 2018)

Europa és sens dubte el principal promotor de les energies renovables modernes, i és també qui té un mix energètic global més equilibrat: tant l'energia nuclear com el carbó, el gas natural i les renovables estan entre el 18 i el 22% del consum energètic total de la regió. Tot i així, dins d'Europa cada país té les seves polítiques energètiques i recursos molt variats, i al llarg de la història cadascun ha apostat per les energies que li han estat més convenientes. Alguns exemples d'aquesta dispersió són el 20% d'energia francesa provinent de l'energia nuclear, el 40% hidràulic d'energia a Noruega o el 35% de gas natural als Països Baixos.

A Espanya les energies predominants són el petroli i el gas natural amb uns percentatges de consum energètic del 53% i 21% respectivament. Una particularitat de l'evolució energètica a

Espanya és que a partir del 2008 el consum ha anat disminuint progressivament, i al 2016 el volum d'energia consumida era similar al de l'any 2000 (veure Figura 4-4). Tot i així, una diferència remarcable entre aquests dos anys es la posició que ocupen les energies renovables dins del mix energètic del país. L'any 2000 només un 3,5% del total era cobert per energies renovables, principalment per energia hidràulica, però al 2016, conservant el mateix percentatge d'energia hidràulica, el total d'energies renovables era del 12,5%.

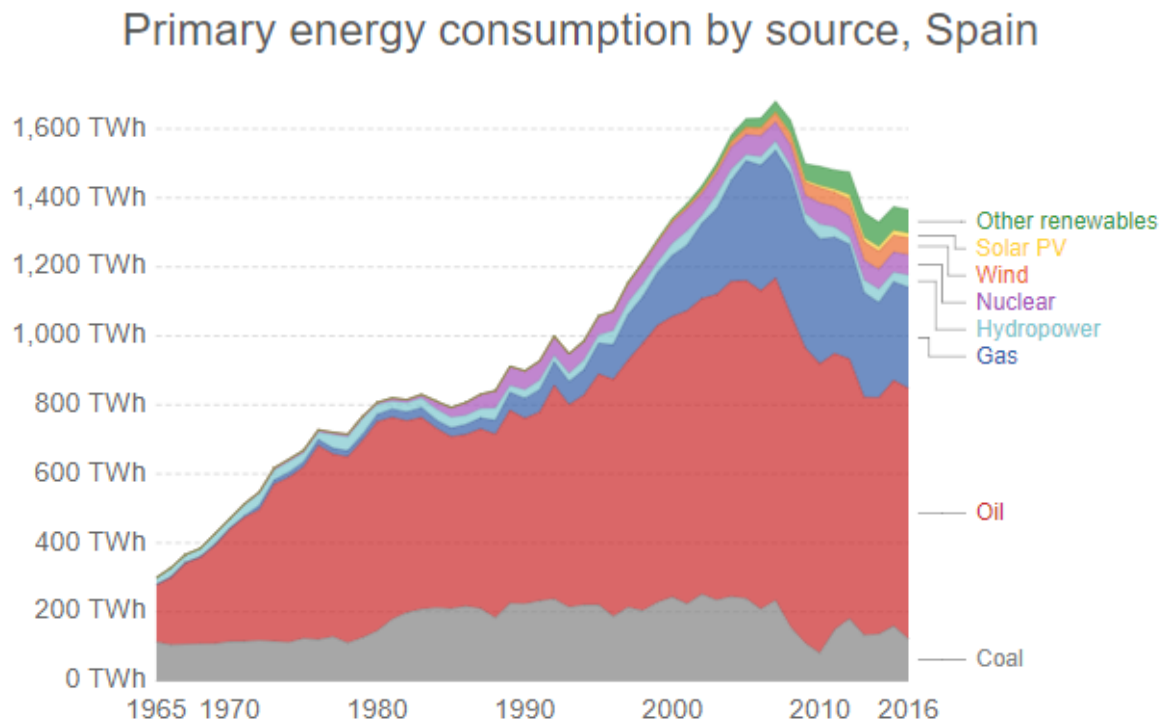


Figura 4-4. Evolució del consum d'energia primària a Espanya (Ritchie & Roser, 2018)

4.2. Situació actual de les energies renovables

4.2.1. Les energies renovables a nivell mundial

El sector de les energies renovables a nivell mundial està liderat per l'energia hidràulica, amb més del 50% de la capacitat instal·lada (veure Figura 4-5). Això es deu a la seva importància al llarg de la història, en ser una de les tecnologies renovables més simple d'implementar i la gran inversió que s'hi ha fet durant els anys, permetent que assoleixi un grau de maduresa important.

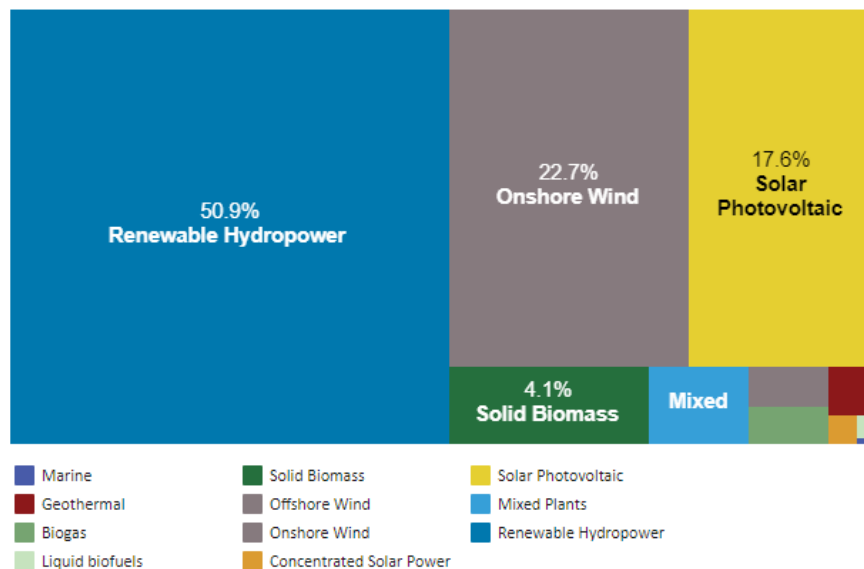


Figura 4-5. Capacitat total instal·lada d'energies renovables al 2017 (IRENA, 2018)

En els països industrialitzats s'aprecia un fort creixement en les darreres dècades de l'energia eòlica i solar produïda, mentre que en els països en desenvolupament aquestes tecnologies comencen a aparèixer en els darrers anys. De manera global l'energia eòlica representa el 23% dins de les energies renovables a nivell mundial, i la solar, el 18%. Cal destacar que dins del camp de l'energia eòlica, encara són més nombroses les centrals *onshore*, ja que tot i els avantatges que presenta l'explotació d'energia eòlica *offshore*, els costos i dificultats d'instal·lació i manteniment fan difícil el seu avenç. Pel que fa a l'energia solar, la tecnologia més estesa és la fotovoltaica.

El cost actualitzat de l'energia (*Levelised Cost of Energy, LCOE*) és una mesura que permet comparar el cost de producció de diferents tecnologies tenint en compte els costos inicials, fonts de finançament i despeses d'operació i manteniment de qualsevol instal·lació. Es calcula de manera general dividint la suma de tots els costos de la instal·lació entre la suma de tota l'energia produïda al llarg de la seva vida útil.

La Figura 4-6 mostra el cost actualitzat de l'electricitat per les principals fonts d'energia renovables. La franja horitzontal grisa representa el rang del LCOE mitjà pels combustibles fòssils. Es pot observar que a excepció de l'energia solar tèrmica, la resta d'energies renovables tenen un cost situat dins del rang de les no renovables, per tant poden fer front en termes econòmics als combustibles fòssils. Destaca la important caiguda dels costos de les tecnologies solars fotovoltaïques. Tot i que presenta un dels majors rangs de costos, al 2016 en mitjana ja se situa en una posició prou bona com per fer front a certes instal·lacions d'energies no renovables.

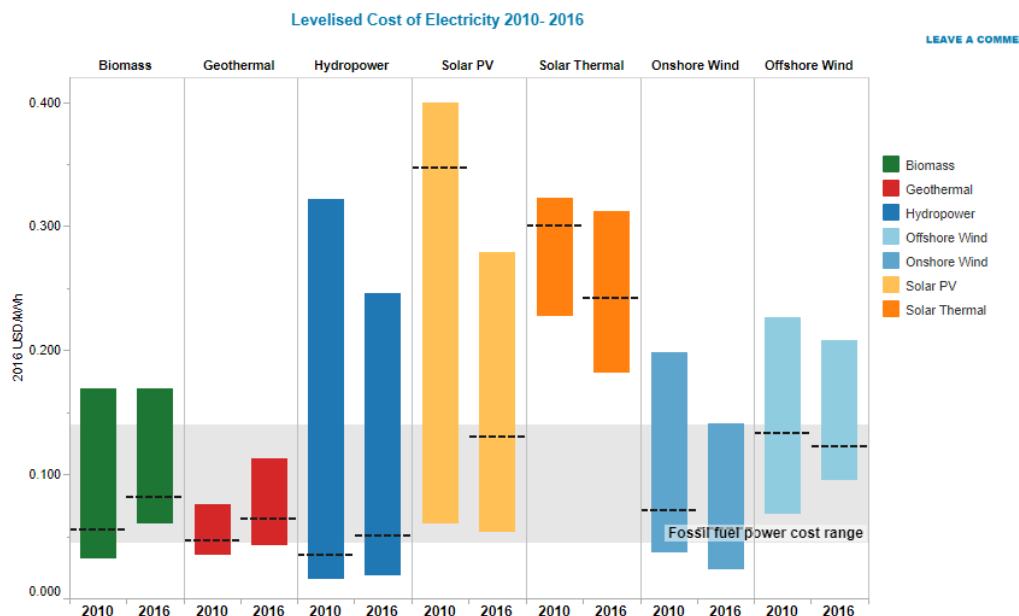


Figura 4-6. Cost actualitzat de l'electricitat 2010-2016 (IRENA, 2018)

4.2.2. Tendències i futur de les energies renovables

El sector de l'electricitat absorbeix prop del 40% de l'energia primària i és responsable de més d'un terç de les emissions de diòxid de carboni. El pes que té en el desenvolupament global és tan important com la seva contribució al canvi climàtic. Tot i així, sembla que en els darrers 20 anys el progrés ambiental del sector és gairebé menyspreable, mentre que la demanda segueix en augment. El percentatge de carbó en el mix energètic actual és el mateix que en el 1997 i el de combustibles fòssils, lleugerament superior. Caldrà fer canvis significatius en el sector per a poder reduir finalment les emissions de diòxid de carboni i assolir els objectius climàtics de l'acord de París.

Segons l'informe anual del 2017 sobre els mercats energètics globals realitzat per BP, una de les multinacionals més importants en el sector de l'energia, la demanda energètica

segueix en augment. Tot i haver-hi hagut un fort creixement en energies renovables i gas natural, el consum de carbó ha crescut després d'una caiguda constant durant els darrers 4 anys, amb l'Índia com a principal responsable. La demanda de petroli també segueix en augment, amb la creixuda més forta dels darrers 5 anys. Les emissions de diòxid de carboni en el sector energètic també han augmentat en més d'un 1,5% el 2017 després de mantenir-se força constants durant tres anys.

La China és el país amb un major augment en la demanda d'energia per 17è any consecutiu, i malgrat haver contribuït a l'augment de consum de carbó, les polítiques ambientals adoptades en els darrers anys han fet que és decanti pel gas natural, considerat un combustible més net que el carbó. També han invertit en les energies renovables, i durant el 2017 han instal·lat més de la meitat dels gairebé 100 GW d'energia solar instal·lats globalment.

Pel que fa a les energies renovables, al 2017 han experimentat l'increment més gran dels darrers deu anys: un 17% de producció més que l'any precedent. L'energia eòlica a contribuït amb més de la meitat d'aquest augment, seguida de l'energia solar, que ha augmentat en un terç la capacitat instal·lada respecte el 2016. Això ha estat possible gràcies a la caiguda en picat dels preus de l'energia solar.

Entre les principals qüestions que es posen els experts en relació al futur de l'energia destaca conèixer si es podrà cobrir la demanda de metalls utilitzats en les bateries. El cobalt i el liti són components clau en les bateries que s'utilitzen per emmagatzemar energia elèctrica, i són indispensables per la viabilitat de les energies renovables amb gran variabilitat, com la solar i l'eòlica, i pels vehicles elèctrics. Les reserves d'aquests materials són limitades i el constant augment en la demanda durant els darrers anys ha fet que en pugin els preus, fent difícil de predir si això suposarà un coll d'ampolla en el desenvolupament de certes tecnologies.

En els darrers anys ha crescut la tendència a la producció descentralitzada, suportada per un moviment de transició energètica que busca un futur on l'energia es produeixi a petita escala, amb un important percentatge d'energies renovables dins del mix energètic. Aquesta producció descentralitzada estaria connectada mitjançant el que es coneix com a *microgrids*, petites xarxes de distribució que volen comptar també amb els vehicles elèctrics per a l'emmagatzemament d'energia de la producció nocturna.

4.3. Estat de l'art de l'energia solar fotovoltaica

4.3.1. L'energia fotovoltaica al món

Existeixen dues maneres principals de generar electricitat a partir de l'energia del sol. La més

extesa és l'energia solar fotovoltaica, que permet transformar la radiació solar directament en electricitat gràcies a les cèl·lules fotovoltaïques i que s'explicarà en detall més endavant. D'altra banda, també existeix el mètode de concentració solar (Concentrated Solar Power o CSP) que utilitza miralls per concentrar els rajos solar en una superfície molt petita, on s'escalfa un fluid que es transformarà en vapor per fer moure turbines i generar electricitat.

L'any 2017, la capacitat instal·lada d'energia solar fotovoltaica a nivell mundial ascendia a 384.620 MW de potència elèctrica, segons l'Agència Internacional d'Energies Renovables (IRENA). Només deu anys abans, aquesta xifra es trobava per sota dels 10 MW. Els avenços tecnològics en aquest període de temps han permès reduir els costos d'aquesta tecnologia i utilitzar-la per produir energia a gran escala. La Figura 4-7 mostra l'evolució de la capacitat instal·lada de les dues principals tecnologies de generació d'electricitat a partir del sol, entre el 2007 i el 2017.

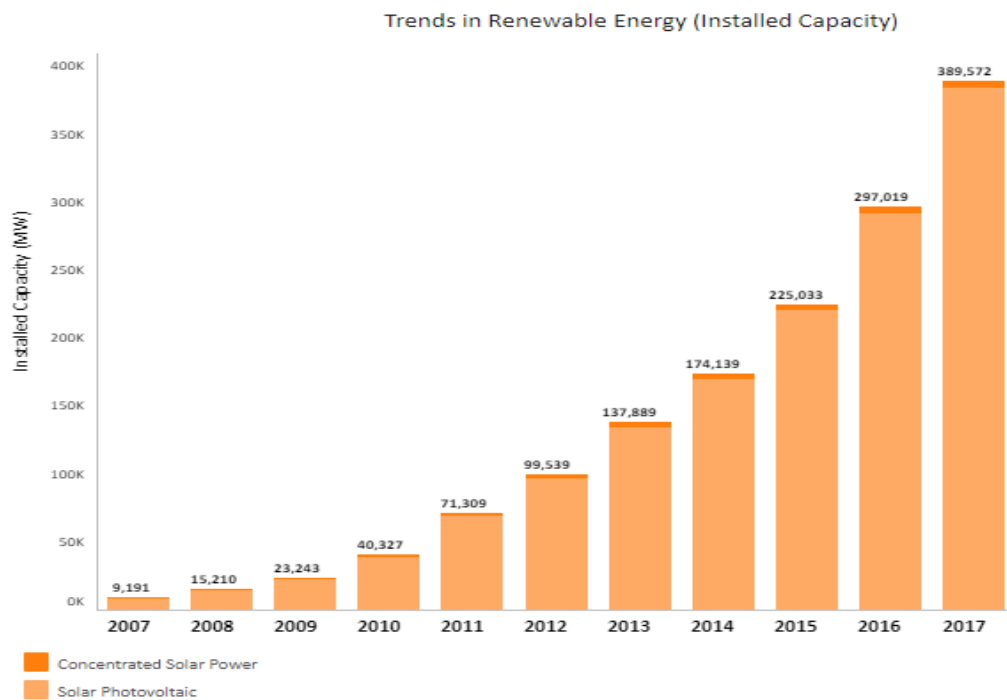


Figura 4-7. Capacitat instal·lada d'energia solar 2007-2017 (IRENA, 2018)

Actualment, els països que encapçalen la llista de producció d'energia solar són la China, amb un terç de la capacitat instal·lada, seguida del Japó, Estats Units i Alemanya, amb aproximadament l'11% cadascuna. Espanya es situa en novena posició del rànking amb 7.278 MW de capacitat instal·lada, que representa menys del 2% mundial. Tot i tenir una quantitat d'irradiació solar que el podria posar en una situació avantatjosa dins d'Europa, les polítiques energètiques adoptades fan que es desenvolupi amb certa lentitud.

4.3.2. Marc normatiu d'energia solar fotovoltaica a Catalunya

Segons estudis recents de la Comissió Europea, per aconseguir energia completament renovable al 2050, la meitat dels ciutadans europeus haurien de produir en conjunt prop del 45% de la demanda energètica. Al gener de 2017, el Govern va aprovar les Bases de la Transició Energètica a Catalunya, creant el camí cap a la democratització de l'energia. Es planteja un nou model energètic 100% renovable de cara al 2050, prioritzant la generació distribuïda i donant una gran importància a la possibilitat que les petites cooperatives i els ciutadans siguin capaços de generar la seva pròpia energia, disposin de tecnologia per emmagatzemar-la i puguin compartir-la o vendre-la a la xarxa elèctrica. En els eixos estratègics de les Bases de la Transició Energètica a Catalunya s'hi troben polítiques orientades a disminuir el pes de les grans instal·lacions tèrmiques centralitzades i a donar suport a la generació distribuïda de baixa potència amb economies d'escala per facilitar-ne l'accés als petits inversors. També s'ha apostat per impulsar el desplegament de les infraestructures necessàries per la recàrrega ràpida de vehicles elèctrics a Catalunya, donant una opció real de mobilitat sostenible i fomentant la producció local d'energia.

Les energies que hi tenen un paper més destacat són la eòlica, principalment per cooperatives i col·lectivitats, degut a la necessitat de grans inversions; i la solar, accessible també per a ciutadans de manera individual. Tot i que la normativa estatal d'autoconsum no facilita el desenvolupament de les energies renovables, estableix que els subministraments elèctrics amb una potència contractada inferior a 10 kW tenen dret a la instal·lació d'un sistema de generació solar fotovoltaic i estan exempts de pagar l'impost del sol. Això representa gairebé el 95% dels subministraments elèctrics catalans, incloent pràcticament la totalitat dels habitatges. Alguns dels principals obstacles que es troben estan lligats a ordenances municipals i plantejaments urbanístics que prohibeixen o limiten les energies renovables en les cobertes d'edificis, punts de connexió, contractes amb la distribuïdora o llicències d'obra. A més de la gran inversió inicial, es possible que les instal·lacions no siguin viables econòmicament, degut a la impossibilitat legal d'utilitzar la xarxa de distribució com a emmagatzematge i la penalització econòmica de l'ús de bateries.

És per aquest motiu que apareix la Taula d'Impuls a l'Autoconsum fotovoltaic a Catalunya, un òrgan creat per l'Institut Català de l'Energia (ICAEN), amb la col·laboració d'administracions locals i del sector energètic, que té com a objectiu incentivar i facilitar la coordinació dels diferents actors implicats en l'autoconsum. Hi tenen representació les empreses distribuïdores, els projectistes i instal·ladors, l'administració energètica de la Generalitat i administracions locals, que treballen conjuntament per avançar cap a la democratització de l'energia amb un sistema de generació més net, distribuït i amb major participació ciutadana, resolent les problemàtiques i obstacles que dificulten l'autoconsum i proposant mesures que

l'afavoreixin. A la Taula hi poden participar tots els agents públics i privats que vulguin i pugin realitzar aportacions que contribueixin a fer de l'autoconsum energètic a Catalunya una realitat. A més, representa un punt de trobada d'entitats relacionades amb l'energia fotovoltaica i dinamitza l'aportació de solucions i propostes presentades. La Taula està organitzada en diversos grups de treball que es centren en el procediment de connexió, la relació amb les administracions públiques, la comunicació d'informació i la creació d'ajuts per a sistemes d'emmagatzematge.

4.4. Tecnologies solars fotovoltaïques

4.4.1. Principi de funcionament del sistemes fotovoltaics

Els sistemes fotovoltaics són aquells que permeten captar l'energia de la radiació solar i convertir-la en electricitat. La conversió té lloc en les cèl·lules solars, que es basen en l'efecte fotovoltaic: una característica que posseeixen determinats materials que fa que absorbeixin fotons de llum i deixin anar electrons. Quan aquests electrons lliures són capturats, es crea un corrent elèctric que es pot utilitzar com a electricitat.

Les cèl·lules solars són elements formats per materials semiconductors, generalment silici, que en rebre els fotons incidents amb l'energia necessària aconseguix alliberar electrons. Per a poder aconseguir un camp elèctric i alimentar un circuit extern, s'extreuen les càrregues mitjançant una unió p-n i uns contactes metàl·lics. El sistema està muntat dins d'una caixa protectora amb una superfície de vidre per permetre l'entrada de la radiació solar (veure Figura 4-8).

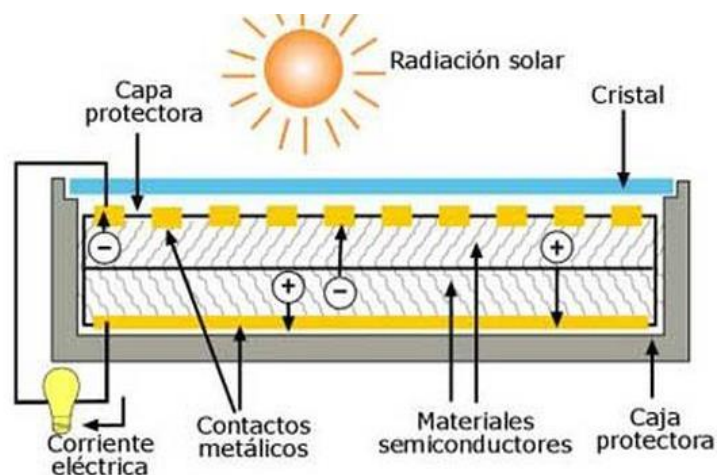


Figura 4-8. Esquema de funcionament d'una cèl·lula fotovoltaica

Les cèl·lules solars s'agrupen en mòduls fotovoltaics, que permeten la unificació de voltatges i corrents, a més de proporcionar una rigidesa mecànica capaç de suportar càrregues de vent, neu i condicions climatològiques adverses. Aquestes estructures faciliten la connexió de diversos mòduls i proporcionen un aïllament elèctric que garanteix la seguretat de les persones.

Les instal·lacions solars fotovoltaiques presenten en general les següents opcions: estar connectades a la xarxa elèctrica o estar destinades únicament per l'autoconsum. Les que estan connectades a la xarxa tenen l'avantatge de poder vendre l'energia sobrant quan la producció supera a la demanda pròpia o en cas contrari, complementar l'energia solar obtinguda amb energia de la xarxa. En canvi, les instal·lacions solars per a l'autoconsum han d'estar equipades amb bateries per a poder emmagatzemar l'energia i utilitzar-la en moments en què la radiació solar no és suficient.

Les característiques d'aquest projecte fan que sigui necessària una instal·lació sense connexió a la xarxa elèctrica. Els elements necessaris per a una instal·lació destinada a l'autoconsum, representats en la Figura 4-9, són els següents:

- **Panells fotovoltaics:** realitzen la transformació de la radiació solar en energia elèctrica de manera directa, sense necessitat de parts mòbils, combustibles ni generació de residus.
- **Controlador de càrrega:** regula l'energia que s'envia a les bateries per evitar que es sobrecarreguin i permet una sortida de corrent per a petites càrregues en corrent continu.
- **Bateries:** emmagatzemen l'energia elèctrica produïda per a que pugui ser utilitzada quan el sistema no està generant energia.
- **Inversor:** els mòduls fotovoltaics generen energia en forma de corrent continu, i en la majoria dels casos és transformat a corrent altern mitjançant inversors, per a facilitar-ne la transmissió i poder alimentar aparells electrònics estàndards o intercanviar energia amb la xarxa si es desitja.
- **Cablejat:** els cables utilitzat en les instal·lacions solar estan dissenyats per ser resistent a les radiacions ultraviolades i a temperatures extremadament elevades. Existeixen regulacions específiques per garantir les necessitats tècniques.

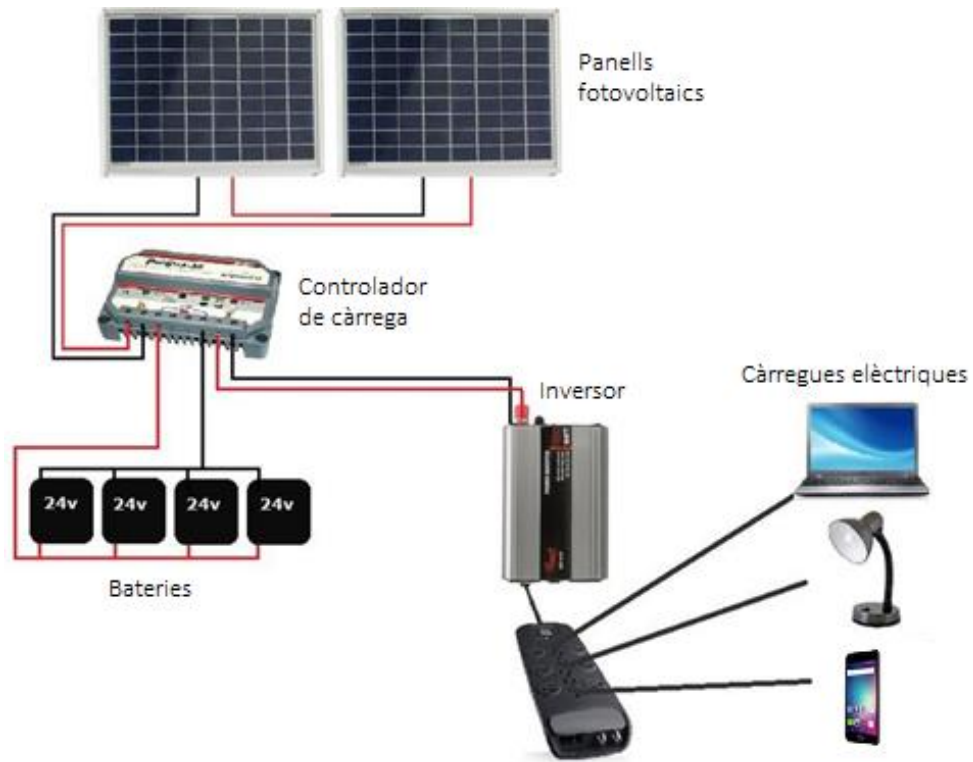


Figura 4-9. Esquema bàsic d'una instal·lació solar per a l'autoconsum

En addició a aquests components, alguns sistemes fotovoltaïcs sense connexió a la xarxa incorporen petits generadors alimentats per combustibles fòssils, que garanteixen el subministrament quan l'energia solar no és suficient per abastir la totalitat de la demanda elèctrica.

4.4.2. Tipus de tecnologies de captació

Les cèl·lules fotovoltaïques es classifiquen en tres generacions segons la importància que han tingut històricament, tot i que actualment es segueix fent recerca per millorar les tecnologies de totes les generacions. Els diferents tipus de cèl·lules solen portar el nom dels materials semiconductors que les formen.

El silici és el material utilitzat per a la fabricació dels panells fotovoltaïcs de primera generació, en forma de làmina d'aproximadament 0,3 mm de gruix. Segons la puresa dels cristalls, se'n poden distingir dos tipus:

- **Cèl·lules monocristal·lines (mono-Si):** estan fetes a partir de lingots cilíndrics de silici obtingut a partir d'un complicat i llarg procés anomenat Czochralski, als quals se'ls retallen els laterals per donar-los-hi una forma més quadrada i facilitar-ne l'agrupació.

Degut a la elevada puresa del silici amb el que estan fabricats, tenen les eficiències més elevades, entre el 15% i el 20%. A més, la seva vida útil sol arribar als 25 anys i tenen millors resultats en condicions de baixa radiació solar. Els principals inconvenients són els elevats costs i la possibilitat de fallada de tot el sistema quan el percentatge d'ombra és elevat en una zona. Aquest últim problema es pot resoldre utilitzant micro-inversors enlloc d'un inversor central.

- **Cèl·lules policristal·lines (p-Si):** es van introduir al mercat el 1981 i el procés de fabricació és més senzill, abocant el material fos en motlles quadrats. Tot i que el silici n'és el principal component, també s'hi mesclen altre materials com l'arseni i el gal·li per a millorar-ne les propietats. Aquestes cèl·lules tenen una tolerància més baixa a la calor en comparació amb les mono-Si, però el cost és significativament menor. Les eficiències solen estar entre el 13% i 16% i presenten una vida útil més curta.

La segona generació és la dels mòduls solars de capa fina convencionals, que estan fets a partir de cèl·lules fotovoltaïques amb capes absorbents de llum d'un gruix aproximadament 350 vegades més petit que el dels panells estàndard de silici. El seu disseny fa que siguin la opció més lleugera, mantenint una durabilitat considerable. A més, les tecnologies fotovoltaïques de capa fina tenen menys pèrdues relacionades amb la temperatura, fet que els permet treballar en altes temperatures proporcionant millors resultats que els panells fotovoltaïcs. En la major part de zones climàtiques, el cost actualitzat de l'electricitat obtinguda amb mòduls fotovoltaïcs de capa fina és menor que el de l'energia fotovoltaïca de primera generació. Els principals materials utilitzats són els següents:

- **Tel·lur de cadmi (CdTe):** és la tecnologia més utilitzada en capa fina, ja que combina els avantatges de les tecnologies de capa fina amb uns costos assequibles en la producció a gran escala. La principal contrapartida és que conté una quantitat de cadmi significativa, fent que sigui relativament tòxic.
- **Silici amorf (a-Si):** és la segona opció més popular, amb un cost reduït i una bona opció si es té en compte la toxicitat i durabilitat, però la seva eficiència sol ser inferior al 7%. S'utilitzen generalment en components electrònics i aplicacions de baix cost, com per exemple en calculadores i altres petits components electrònics. La quantitat de silici necessària és només l'1% del que cal en les cèl·lules monocristal·lines, i presenta l'avantatge de poder-se fabricar en mòduls flexibles i lleugers.
- **Selenur de Coure Indi i Gal·li (CIS/CIGS):** presenten rendiments relativament elevades amb un cost assequible, a més de ser especialment efectius a l'hora de captar radiació difusa, per la qual cosa són molt utilitzats en instal·lacions verticals i façanes d'edificis. Tot i que encara s'està estudiant com millorar-ne l'eficiència, tenen un futur prometedori dins del mercat fotovoltaïc.

- **Arsenur de gal·li (GaAs):** és una tecnologia amb un cost molt elevat, però pot arribar a eficiències del 28%, les més elevades possibles en el camp de tecnologies de capa fina. S'utilitzen com a tecnologia fotovoltaica en aplicacions aeroespacials.

La majoria de centrals solar fotovoltaïques utilitzen panells fotovoltaics rígids, però en algunes situacions particulars, aquests no són una opció. Les tecnologies fotovoltaïques de capa fina, conegudes també com a lones fotovoltaïques, gràcies a la seva flexibilitat i el seu baix pes permeten una millor adaptació en superfícies corbes o en estructures que no poden suportar el pes dels mòduls fotovoltaics convencionals. A més, la quantitat de silici utilitzada és molt menor, millorant significativament la seva petjada ambiental.

D'altra banda, l'eficiència de les lones fotovoltaïques és generalment més baixa que la dels seus equivalents rígids, amb una mitjana al voltant del 12% i 16% respectivament. Això fa que per obtenir la mateixa quantitat d'energia es necessiti una superfície major. Un altre desavantatge que presenten les tecnologies fotovoltaïques de capa fina és el seu cost més elevat. Malgrat que la seva fàcil instal·lació fa que es redueixin significativament els costos, les característiques constructives d'aquest producte fan que en general la inversió inicial sigui més elevada.

Les cèl·lules fotovoltaïques de primera i segona generació utilitzen generalment una única unió o junció simple entre materials semiconductors per crear el camp elèctric. En aquest cas, només els fotons que tinguin una energia igual o superior a l'energia de banda (*band gap*) del material faran possible l'alliberació d'un electró. Això limita el percentatge d'energia solar que acaba sent utilitzada.

La Figura 4-10 mostra el límit Shockley-Queisser dels principals materials utilitzats en la fabricació de cèl·lules solars, que determina la màxima eficiència de conversió teòrica que es pot obtenir d'un material semiconductor segons la seva energia de banda.

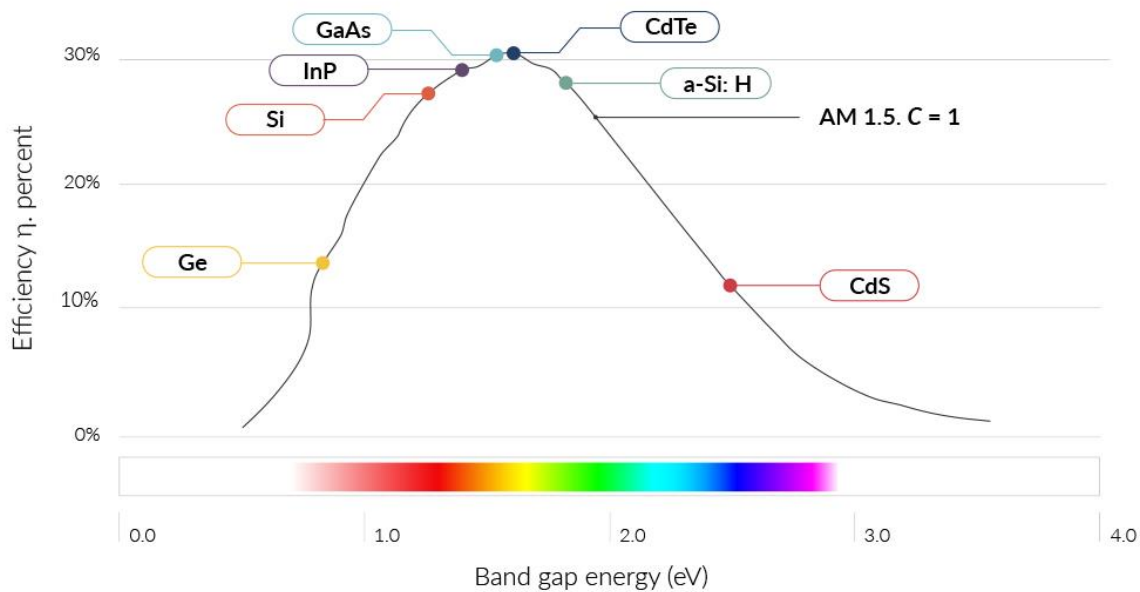


Figura 4-10. Límit Shockley-Queisser de les cèl·lules solars

Per poder sobrepassar aquesta limitació, existeixen cèl·lules solars utilitzen més d'un material amb diferents energies de banda, també anomenades cèl·lules multijunció, que permeten convertir una major part de l'espectre lumínic en electricitat. Els materials amb més potencial, degut a que presenten una energia de banda més baixa, són el gal·li i l'arseni, que han permès aconseguir eficiències de fins al 35% combinades amb altres materials. Entre els materials utilitzats, s'hi troben també el sulfur de plom (PbS), el germani (Ge), el tel·lur de cadmi (CdTe) i el sulfur de cadmi (CdS), que absorbeixen la llum solar amb una efectivitat de fins a 100 vegades major que el silici.

La tercera generació també s'anomena la de les tecnologies fotovoltaïques emergents, ja que la majoria encara no s'han utilitzat a nivell comercial. Es caracteritzen per la propietat de poder disposar el material en més d'un pas, de tal manera que permet l'ús de substrats flexibles i lleugers. Hi ha moltes tecnologies diferents en recerca, de les quals en destaquen:

- **Perovskites:** formades per un compost organometàl·lic amb una estructura cristal·lina de perovskita. Es pot produir a gran escala de manera senzilla a un preu econòmic i presenta rendiments elevats.
- **Orgànic PV:** consisteixen en diverses capes fines de molècules amb base de carboni i polímers que absorbeixen la llum. Aquest material pot ser depositat en capes fines mitjançant tecnologies de baix cost.

4.4.3. Tipus de tecnologies d'emmagatzematge

L'energia solar presenta una gran variabilitat degut a la seva dependència del moviment del sol. Només es pot captar energia durant un nombre limitat d'hores durant el dia, i l'època de l'any i les condicions climàtiques poden jugar en contra. Si no s'està connectat a la xarxa i no es consumeix l'energia a l'instant, cal emmagatzemar-la per no perdre-la i poder utilitzar-la més tard.

Les bateries estan formades per una o més cel·les electroquímiques, on es produeix una reacció entre dues substàncies: un material reductor que cedeix electrons i un oxidant que els absorbeix. Cadascun dels dos elements es relaciona amb un dels elèctrodes, de manera que es produeix un corrent elèctric continu en tancar el circuit amb una càrrega elèctrica. El born negatiu correspon a l'ànode, on s'hi produeix la reacció d'oxidació, i el born positiu, al càtode, on hi té lloc la reacció de reducció. Es poden connectar en sèrie si es desitja augmentar el voltatge.

Per a instal·lacions fotovoltaïques és convenient utilitzar bateries de cicle profund, que són les que permeten fer descàrregues de fins al 80% de la capacitat sense comprometre les seves propietats. Tot i així, es recomana que es dimensioni el sistema per descàrregues màximes del 50%, guardant un 30% de la capacitat per emergències.

Les bateries es classifiquen segons el tipus de tecnologia de fabricació i els electròlits utilitzats. Els principals tipus de bateries per a l'emmagatzematge d'electricitat provinent de mòduls fotovoltaïcs segons el tipus d'electròlit són els següents:

- **Àcid-plom:** són les més antigues i també les més utilitzades en instal·lacions solars degut a la bona relació de preu per energia disponible i la seva robustesa. Utilitzen dos elèctrodes de plom i presenten eficiències elevades (85-95%) amb un voltatge nominal de cel·la de 2 V. S'han de mantenir carregades després de cada cicle per evitar la pèrdua de capacitat i cal controlar el nivell d'aigua que necessiten els electròlits per poder funcionar en condicions òptimes. N'hi ha de diferents tipus:
 - **Monoblock:** estan fabricades com un únic bloc i es poden combinar per aconseguir potències elevades, estant especialment dissenyades per aplicacions que requereixen un subministrament d'energia elèctrica de llarga durada.
 - **Absortion Glass Mat (AGM):** són un tipus de bateries també conegudes com bateries seques, ja que el seu contingut d'àcid és reduït i està fixat en fibres de vidre. El seu cost és més elevat, però no necessiten, ja que produeix la seva pròpia aigua en el procés. Són més vulnerables davant de descàrregues

profundes però tenen la millor eficiència d'entre les bateries de plom, arribant fins al 95%. La seva vida útil ronda els 5 anys.

- **Bateries de gel:** l'àcid d'aquestes bateries es troba en forma de gel per evitar pèrdues de líquid en cas de ruptura. Són resistents a la corrosió i a les baixes temperatures i presenta un millor comportament davant les descàrregues profundes que les bateries líquides, amb un cost més elevat. La seva vida útil està al voltant dels 7 anys.
- **Níquel-Cadmi:** estan formades per un càtode d'hidròxid de níquel i un ànode de cadmi, amb un electròlit d'hidròxid de potassi. Tenen una capacitat reduïda, però una llarga vida útil, un manteniment reduït i no es veuen afectades per les sobrecàrregues excessives ni per les variacions de temperatura. La capacitat de la bateria disminueix quan es carrega sense haver-la descarregat completament. El seu voltatge nominal de cel·la és d'1,2 V.
- **Liti-ió:** utilitzen com a electròlit una sal de liti que aporta els ions necessaris per la reacció entre l'ànode de grafit i el càtode de cobalt, proporcionant una tensió nominal entre 2,6 i 4,3 V segons l'estat de la càrrega. El seu cost és més elevat, però també ho són la seva vida útil i el seu rendiment. No necessiten ningun tipus de manteniment al llarg de la seva vida útil i els materials dels què està composta són més respectuosos amb el medi ambient que els dels altres tipus de bateries.

4.4.4. Altres tecnologies auxiliars

Seguidors solars (*trackers*)

Aquestes estructures orienten els panells solars al llarg del dia directament al sol o a l'àrea del amb més radiació en dies ennuvolats, permetent millorar el rendiment durant les primeres i últimes hores de sol.

Segons el nombre de graus de llibertat dels què disposen, es poden trobar seguidors d'un eix i de dos eixos. Els d'un eix s'utilitzen en aplicacions on la precisió no és molt important i poden seguir l'eix polar o el vertical, aconseguint un augment del rendiment respecte els mòduls fixos del 30% i 20% respectivament. Els seguidors solars de dos eixos permeten modificar completament la orientació de la superfície de captació segons es vulgui.

Depenent del sistema que s'utilitzi per determinar el moviment a realitzar, existeixen els sistemes basats en microcontroladors que calculen la posició del sol a partir una base de dades i la informació horària, o els sistemes que utilitzen fotosensors per detectar la direcció

del sol real.

Tot i permetre una millora significativa del rendiment, els seguidors solars també augmenten els costos i el manteniment del sistema, a la vegada que en disminueixen la robustesa. Quan els panells fotovoltaïcs tenien un preu extremadament elevat era necessari obtenir el màxim rendiment amb la mínima superfície possible, però actualment sol ser més convenient augmentar la superfície de captació i mantenir l'estructura fixa.

Monitoratge

El monitoratge dels sistemes fotovoltaïcs és essencial per detectar qualsevol tipus de problema que hi pugui haver en la instal·lació, però també permet obtenir informació important per als usuaris com la quantitat d'energia produïda, l'estat de càrrega de les bateries i dades meteorològiques rellevants. Alguns dels sistemes de monitoratge més moderns també permeten actuar sobre el sistema a distància

CPV (Concentrator Photovoltaics)

Aquests sistemes utilitzen lents òptiques o miralls corbats per concentrar els rajos solars en cèl·lules solars de petites dimensions i elevada eficiència. En localitzacions amb una elevada irradiància poden concentrar 400 vegades més llum solar i aconseguir rendiments de fins al 28%. Tot i que es redueix la superfície necessària, són necessaris seguidors i sistemes de refrigeració, que fan que n'augmenti el cost. Aquests sistemes encara estan en fases de recerca i desenvolupament.

5. Determinació de l'àmbit d'actuació

5.1. Estudi de la radiació solar al terreny

5.1.1. Sistema Geogràfic d'Informació Fotovoltaica (PVGIS)

El Centre de Recerca Adjunt de la Unió Europea (JRC) ha estat desenvolupant durant més de deu anys una eina online que proporciona accés lliure i gratuït a les dades de radiació solar i temperatura necessàries per a fer estimacions de disseny de sistemes de captació d'energia solar fotovoltaica. Aquesta eina es coneix amb el nom de PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) i conté informació d'arreu d'Europa i Àfrica i una gran part d'Àsia i Amèrica. Es tracta d'una eina fiable que pretén reduir la incertesa de les estimacions sobre la radiació solar i obtenir uns resultats més fiables.

Entre els diferents recursos de PVGIS hi ha mapes interactius, diverses bases de dades amb informació sobre radiació solar i temperatura, i una calculadora online que permet fer estimacions sobre sistemes fotovoltaics.

Per a fer un estudi dels recursos d'energia solar disponibles en una zona determinada, es pot obtenir informació detallada sobre la irradiació i la temperatura mensual, diària i horària, en forma de gràfic o com a base de dades. Els valors que mostra són els següents:

- Irradiació horitzontal global: és la suma mensual de la radiació solar rebuda per metre quadrat en el pla horitzontal (incloent la radiació difusa).
- Irradiació directa normal: és la suma mensual de la radiació solar rebuda per metre quadrat orientat sempre en la direcció del sol, incloent només la radiació provinent directament del sol (no té en compte la radiació difusa).
- Irradiació global en l'angle òptim: és la suma mensual de la radiació solar rebuda per metre quadrat mesurada per una superfície orientada cap a l'equador amb l'angle d'inclinació pel qual s'aconsegueix una major irradiació anual (també existeix l'opció d'escollir qualsevol altra inclinació).
- Rati de radiació difusa: indica la fracció de irradiació horitzontal global que ve dels núvols i del cel (no directament del sol). Generalment, els valors alts d'aquests radis corresponen a climes amb gran quantitat de núvols.

La potència real obtinguda d'un sistema fotovoltaic és difícil de predir amb precisió, ja que depèn de un gran nombre de factors i alguns d'ells no es poden controlar. Tot i això, si ja es

coneixen algunes de les característiques concretes de la instal·lació, es poden incorporar a la calculadora de PVGIS per a obtenir uns resultats més concrets. Aquesta eina és molt útil per dissenyar instal·lacions d'energia solar fotovoltaica i té en compte tots els paràmetres següents:

- Tipus de cèl·lula fotovoltaica: es poden estimar les pèrdues degudes a la temperatura i els efectes de la irradiància de les cèl·lules de silici cristal·lí i de mòduls de capa fina fets CIGS o de CdTe. Per altres tipus de tecnologies, es fixa un 8% de pèrdues generals.
- Posició de muntatge: diferencia entre sistemes muntats en una estructura per on hi pot passar l'aire per la cara posterior o mòduls integrats en la coberta d'un edifici. Això tindrà un impacte en temperatura que assoleixi el mòdul fotovoltaic, i a la seva vegada afectarà a la eficiència real del sistema, de manera que aquesta generalment disminueix quan augmenta la temperatura.
- Angle d'inclinació: angle entre la superfície de les plaques fotovoltaïques i el pla horitzontal per a sistemes fixes.
- Angle d'orientació o azimuth: determina la orientació relativa al sud, on 0° indiquen una orientació directa al sud, -90° a l'est i 90° a l'oest.
- Posició variable (*tracking*): els mòduls de plaques fotovoltaïques poden estar muntats sobre una estructura que permet la rotació en l'eix vertical, en un eix inclinat en direcció nord-sud o en dos eixos. Per al disseny d'instal·lacions on la inclinació i l'orientació pot ser escollida, la calculadora online de PVGIS calcula els angles òptims per tal d'obtenir la màxima potència en sistemes de posició fixa o amb un eix de rotació. En sistemes de posició variable, la inclinació del eix pot ser fixada manualment o es pot deixar que el programa calculi l'òptima, mentre que la rotació ve determinada per la posició del sol al llarg del dia. Això implica que la velocitat de rotació no serà constant. Els sistemes amb dos eixos són capaços d'orientar tota la superfície de captació en direcció al sol, obtenint la màxima radiació solar possible.
- Horitzó: el programa té en compte la geografia de la zona en un radi de 90 m que poden crear ombres que disminueixin la superfície de captació. L'usuari també pot definir l'alçada i posició d'altres elements que envolten el sistema de captació solar com edificis i vegetació.
- La potència nominal de pic: ve donada pel fabricant i correspon a la potència generada pel mòdul o sistema fotovoltaic mesurada a 1000 W/m² d'irradiància solar i a 25°C. El rendiment nominal equival a la relació entre la potència generada per metre quadrat i

la irradiància en les mateixes condicions.

5.1.2. Estudi de l'energia fotovoltaica a Castellolí

En el mapa de la Figura 5-1 es pot observar com de manera general la irradiació solar directa a Catalunya està al voltant de 1500 kWh/m². Cal destacar que les zones muntanyoses del Pirineu, Pre-Pirineu i la Serralada Litoral reben una menor radiació solar degut a les ombres causades pel relleu. D'altra banda, el pla de Lleida i les zones costeres entre Barcelona i les Terres de l'Ebre acumulen irradiacions anuals superiors a la mitjana del territori català.

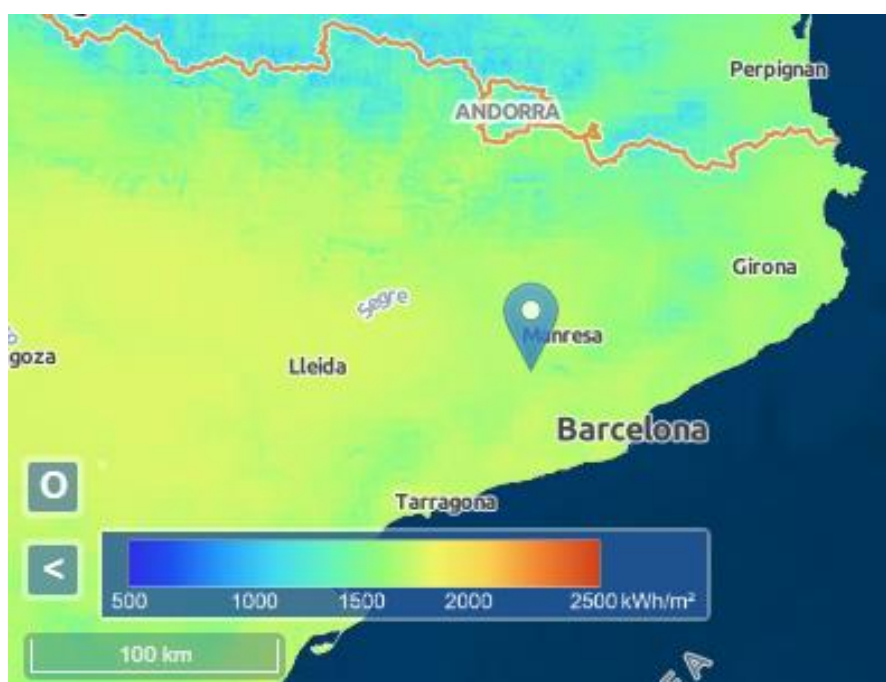


Figura 5-1. Mapa d'irradiació solar directa a Catalunya (Font: PVGIS)

Utilitzant la calculadora online de PVGIS descrita en l'apartat anterior, s'ha realitzat un primer estudi de l'energia solar disponible a la zona de Castellolí. La base de dades usada és la del CMSAF (*Climate Monitoring Satellite Application Facility*) entre els anys 2007 i 2016, agafant com a referència les coordenades i elevació de la zona d'acampada del Parcmotor. Castellolí està situat a la Serralada Litoral, però té l'avantatge que el relleu que envolta el Parcmotor no presenta grans irregularitats.

Latitud	41,586° N
Longitud	1,680° E
Elevació	359 m

A continuació es presenta un resum dels resultats obtinguts en l'estudi anual de PVGIS, on s'ha considerat la mitjana mensual de cada paràmetre en el període de 10 anys. Per aquesta localització, l'angle d'inclinació òptim és de 35° per a superfícies orientades al sud (azimut 0°) i les temperatures mitjanes oscil·len entre els 7°C a l'hivern i els 24°C a l'estiu.

En la Taula 5-1 es mostra la irradiació mensual tenint en compte tres possibilitats: el pla horitzontal, un pla fix amb inclinació òptima, i un pla que s'orienta de manera que sempre rep la radiació solar directa. El rati D/R mostra el percentatge d'irradiació difusa en el pla horitzontal en relació a la radiació directa global. A partir d'aquests valors es pot calcular la irradiació global, que mostra el màxim potencial de radiació solar directa i difusa que es pot obtenir cada mes.

Mes	Temperatura [°C]	Irradiació horitzontal [kWh/m²]	Irradiació 35° [kWh/m²]	Irradiació directa [kWh/m²]	Rati D/G	Irradiació Global [kWh/m²]
Jan	7,0	65,2	112,5	96,9	43%	124,8
Feb	7,4	84,3	127,9	113,3	39%	146,3
Mar	9,9	135,2	175,1	160,3	35%	207,1
Apr	12,9	160,1	174,7	162,5	36%	220,5
May	16,4	201,4	196,8	198,1	33%	265,0
Jun	20,7	216,5	199,9	218,3	30%	284,1
Jul	23,4	224,3	212,8	235,6	28%	297,3
Aug	23,0	192,9	201,4	209,6	30%	267,5
Sep	19,6	142,4	171,9	158,0	34%	207,0
Oct	15,7	104,0	146,8	129,0	38%	168,5
Nov	10,4	68,7	114,0	99,6	42%	128,6
Dec	7,3	57,3	103,4	89,8	44%	115,1
Total	14,5	1652,3	1937,2	1871,0	36%	2431,7

Taula 5-1. Temperatura i irradiació mitjana a Castellolí

Les temperatures mitjanes en la zona de Castellolí són generalment moderades, tot i que durant el 2017 es van enregistrar màximes de 39,2°C i mínimes de -8,8°C, segons l'informe de temperatures anuals de Meteocat per l'estació meteorologia d'Òdena, les temperatures a l'hivern solen ser entre -2°C i 16°C i a l'estiu entre els 15°C i 33°C. La Figura 5-2 mostra un resum de les temperatures mitjanes mensuals dels darrers 10 anys.

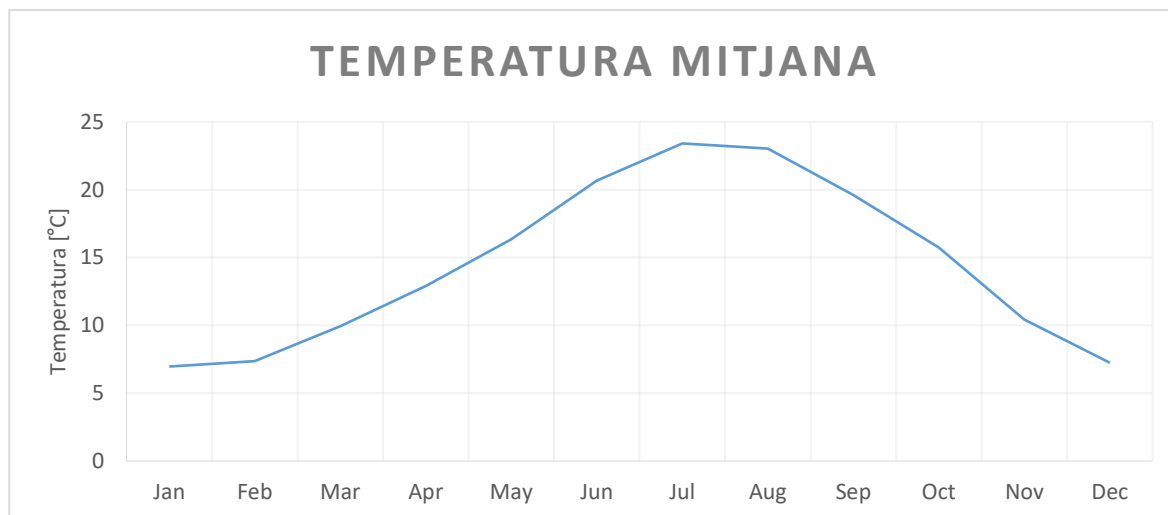


Figura 5-2. Gràfic de la temperatura mensual mitjana a Castellolí

La Figura 5-3 permet comparar visualment els diferents valors d'irradiació de la taula anterior. Durant els mesos d'estiu, la irradiació en el pla horitzontal és superior a la irradiació en un pla orientat a 35°.

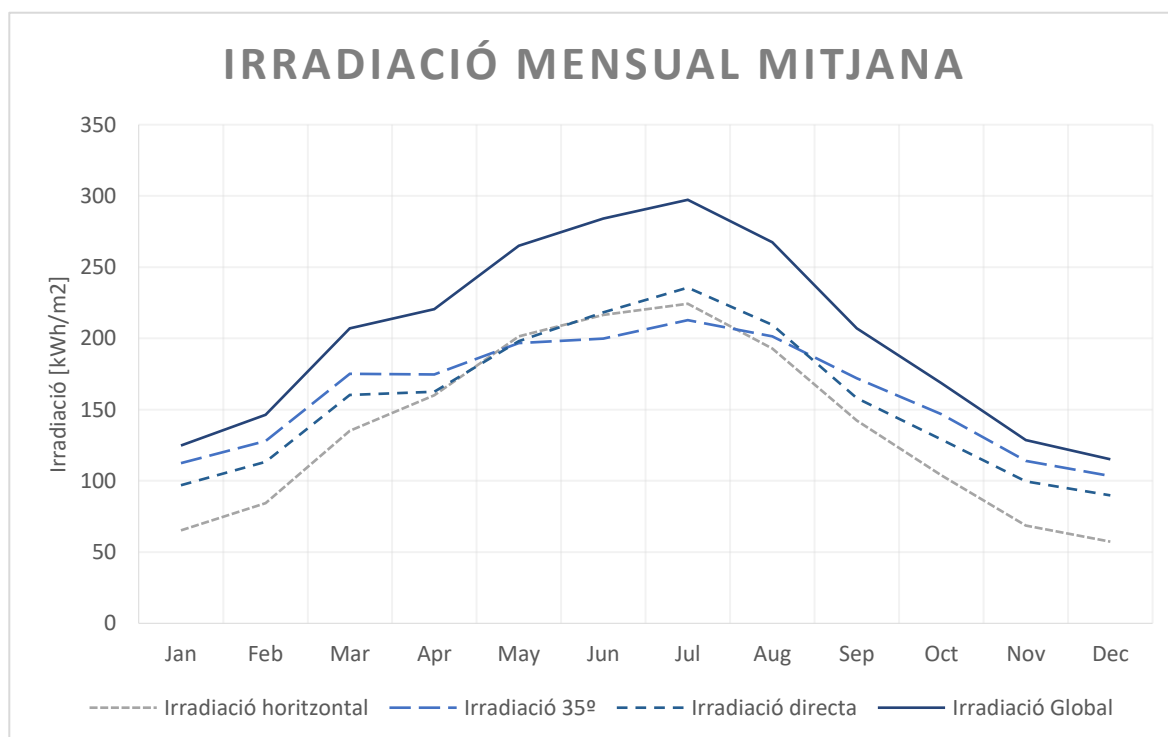


Figura 5-3. Gràfic de la irradiació mensual mitjana a Castellolí

L'angle òptim es calcula de manera que la radiació rebuda al llarg d'un any sencer sigui la major possible, per tant, si només s'utilitza el sistema de captació d'energia fotovoltaica durant

la primavera, estiu i hivern, un angle inferior pot captar una major irradiació en el cas de plaques solars fixes. Si s'utilitza un sistema de subjecció mòbil que permeti orientar les plaques segons la posició del sol, es pot esperar captar una irradiació similar a la global, en tot cas per sobre de la irradiació directa, ja que cal considerar també la radiació difusa.

Donant un cop d'ull al rati d'irradiació difusa (Figura 5-4) es pot veure que, com a conseqüència d'una nuvolositat més freqüent durant els mesos d'hivern, el percentatge d'irradiació difusa és més elevat que durant els mesos d'estiu.

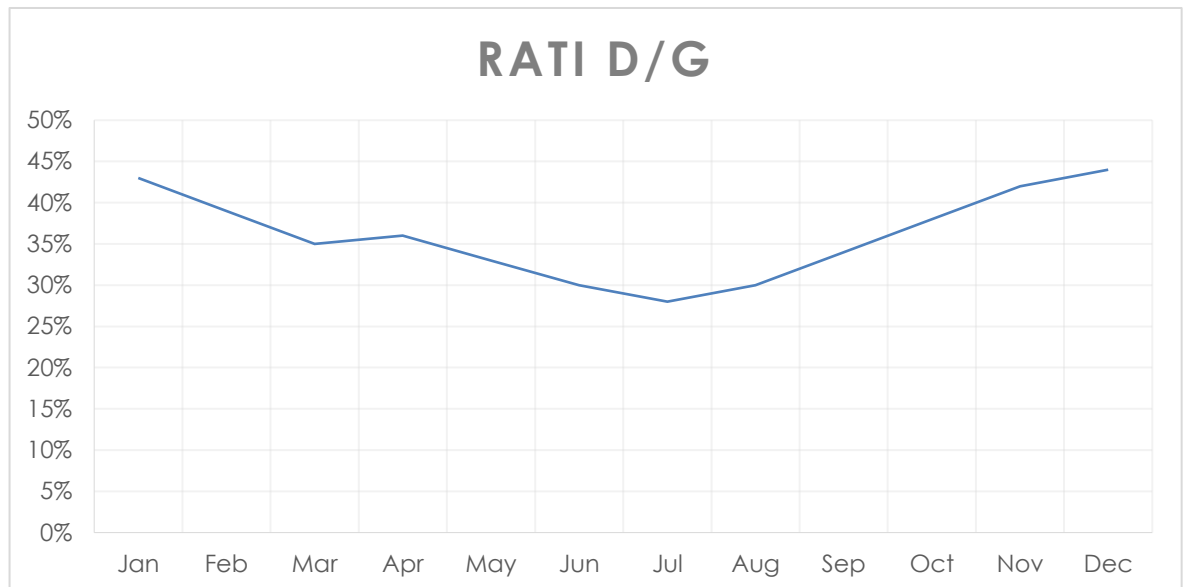


Figura 5-4. Gràfic del rati d'irradiació difusa mitjà a Castellolí

Amb la informació recopilada en aquest apartat, es pot concloure que Castellolí presenta a priori bones característiques per a l'aprofitament de l'energia fotovoltaica, situant-se per sobre de la mitjana catalana en termes d'irradiació solar rebuda. Tenint en compte que l'ús que se'n farà de les instal·lacions es concentrarà principalment entre els mesos de març i novembre, serà convenient considerar un angle d'inclinació inferior a 35° per a millorar el rendiment global de la instal·lació.

5.2. Estimació de l'ocupació general del Parcmotor

L'ocupació de la zona d'acampada del Circuit Parcmotor de Castellolí és molt variable, i va lligada al calendari d'esdeveniments anual. Es coneix que les competicions més importants tenen lloc durant alguns caps de setmana de primavera i estiu. Quan no hi ha competicions ni altres esdeveniments de gran afluència programats, és més difícil de predir l'ocupació de la zona d'acampada, ja que en la majoria de casos, els usuaris esporàdics no pernocten al Parcmotor. Durant la setmana, en algun cas puntual podria ser que es fes ús de la zona d'acampada en dies laborables, però generalment només s'utilitzarà durant el cap de setmana.

Es considerarà l'inici del cap de setmana el divendres al migdia i el fi serà el diumenge per la tarda. Durant aquest període de temps, els usuaris del terreny d'acampada utilitzaran la carpa de serveis comuns durant el seu temps lliure i en la majoria dels àpats. Durant l'hora d'esmorzar i dinar, el restaurant del Parcmotor restarà obert, i pot ser que un percentatge considerable dels campistes decideixin menjar allà. De la mateixa manera, es probable que els divendres l'arribada es produeixi després del dinar. En canvi, a l'hora de sopar ja hauran tancat els serveis de restauració i s'espera que la major part dels usuaris decideixin cuinar utilitzant els serveis comuns de la zona d'acampada.

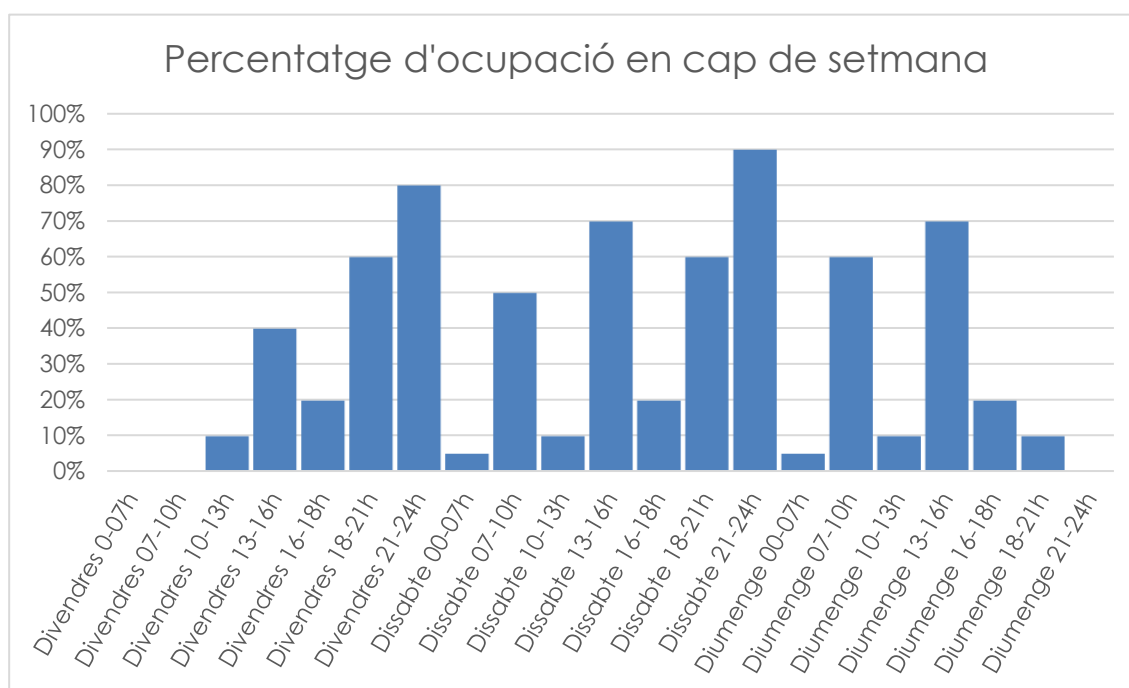


Figura 5-5. Percentatge d'ocupació estimat durant el cap de setmana

La Figura 5-5 mostra la utilització esperada de la zona de serveis comuns al llarg d'un cap de setmana de manera percentual. El temps d'esbarjo es concentrarà principalment durant el

vespre, quan els usuaris acabin les seves activitats en els diferents circuits del Parcmotor, la majoria de les quals tenen un horari d'obertura entre les 10:00h i les 18:00h. A partir de les sis de la tarda, s'espera que una bona part d'ells tornin al terreny d'acampada i utilitzin la zona de serveis comuns per reunir-se, tan abans com després de sopar.

Per a poder fer una estimació anual de l'ocupació de la zona d'acampada, s'han fet les suposicions resumides en la Taula 5-2. De les 52 setmanes totals, 4 acolliran competicions d'entre 375 i 500 campistes, durant 13 setmanes hi haurà esdeveniments amb una afluència d'entre 125 i 250 persones, i durant 25 setmanes hi haurà una mitjana de 50 usuaris, deixant un total de 10 setmanes amb una ocupació nul·la.

Suposant que s'utilitzarà una carpa de característiques similars a la descrita a l'apartat 3.4, amb una superfície de 72 m² i ocupació màxima de 60 persones, es preveu la instal·lació d'una carpa per cada 100 usuaris, ja que no tothom farà ús dels serveis comuns simultàniament. Calculant la mitjana ponderada de l'ocupació al llarg d'un any, s'obté que si se suposés una afluència constant durant l'any, cada setmana hi hauria aproximadament 100 usuaris fent ús de la zona d'acampada, la qual cosa equival a 1 carpa de serveis comuns.

Percentatge d'ocupació	Nombre de setmanes	Nombre d'usuaris	Nombre de carpes
100%	2	500	5
75%	2	375	4
50%	5	250	3
25%	8	125	2
10%	25	50	1
0%	10	0	0
20%	52	101	1

Taula 5-2. Percentatges d'ocupació setmanals al llarg d'un any

Totes les dades mencionades en aquest apartat són una estimació basada en suposicions generals i en els gràfics d'afluència dels diferents serveis del Parcmotor disponibles a *GoogleMaps*. Aquest estudi bàsic servirà de referència per poder determinar si el sistema solar fotovoltaic proposat per cobrir les necessitats energètiques del *Smart Moto Challenge*, també pot ser utilitzat en altres esdeveniments del Parcmotor. Si és volgués obtenir un model que representés de manera fidel l'ocupació de la zona d'acampada del Parcmotor, s'hauria de fer un estudi més rigorós observant l'ocupació real i les tendències dels usuaris durant període de temps representatiu de com a mínim un any sencer.

5.3. Estimació de l'ocupació i l'ús en el *Smart Moto Challenge*

La propera edició del *Smart Moto Challenge* se celebrarà del 15 al 21 de juliol del 2019 al circuit de Castellolí. La durada de l'esdeveniment és d'una setmana sencera, de dilluns a diumenge. Igual que en la edició anterior, els participants s'allotjaran al terreny d'acampada del Parcmotor, on disposaran de carpes amb zones comuns i blocs prefabricats amb dutxes i lavabos.

Un dia tipus de competició comença amb l'esmorzar, entre les 7:00h i les 8:30h, on es preveu l'ús dels electrodomèstics de la cuina durant petits intervals de temps i també de les dutxes. Entre les 9:00h i les 14:00h, hi ha programada la primera sessió del dia, i per tant els estudiants no estaran a la zona d'acampada. Durant aquest temps, s'aprofitarà per carregar les bateries, ja que el consum instantani serà nul. Entre les 14:00h i les 16:00h, s'espera que els equips tornin a la zona d'acampada per preparar el dinar, menjar i descansar una estona. En aquest període es farà ús de la cuina, tot i que pot ser que alguns equips decideixin menjar a la cafeteria del parc, que està oberta durant el dia. També es contempla la possibilitat que alguns dels estudiants decideixin dutxar-se durant el temps lliure que tenen.

A la tarda hi torna a haver una sessió fora de la zona d'acampada, generalment entre les 16:00h i les 19:00h. Després els estudiants tindran temps lliure per descansar, preparar el sopar, menjar i dutxar-se, i serà per tant el període de més demanda energètica.

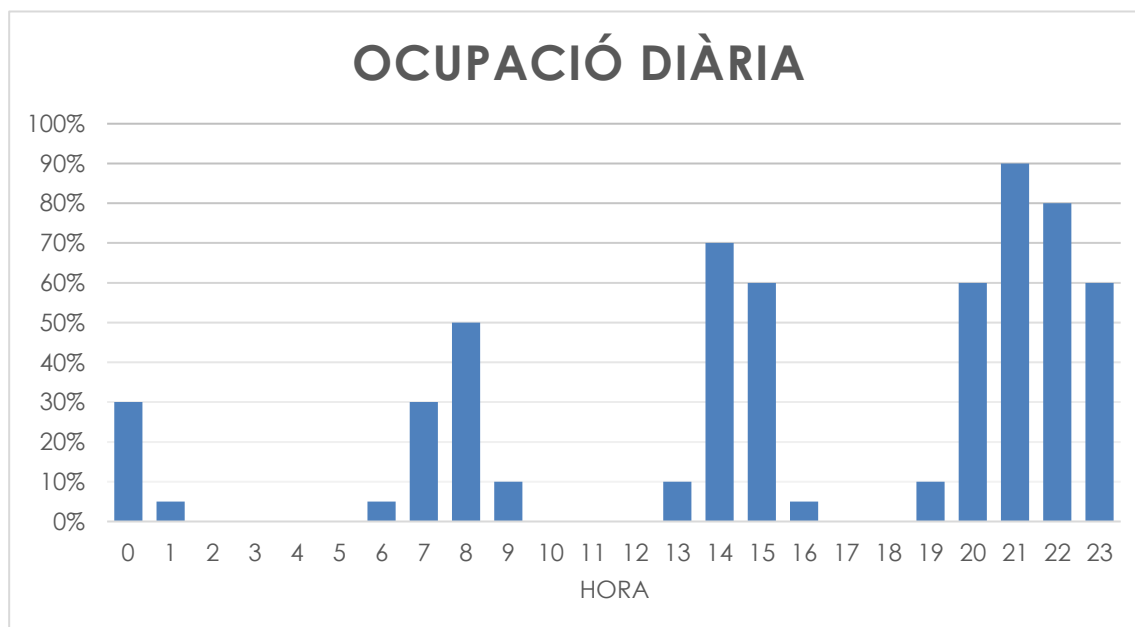


Figura 5-6. Percentatge d'ocupació estimat durant un dia del *Smart Moto Challenge*

5.4. Estimació de la demanda energètica

El sistema de subministrament energètic hauria de ser capaç d'alimentar les càrregues utilitzades durant un dia de plena activitat tenint en compte la capacitat i ús de la carpa de serveis comuns descrits anteriorment. En relació a l'ocupació prevista descrita en l'apartat anterior, s'utilitzarà l'horari i les estimacions d'ús dels serveis per determinar la demanda energètica, ja que el sistema d'aportació d'energia solar ha de ser capaç de cobrir les necessitats d'un dia complet.

La potència que caldrà instal·lar en el sistema s'ha calculat considerant com a càrregues elèctriques l'enllumenat de baix consum, dues nevera, la resta d'electrodomèstics de la cuina i els endolls de la zona de chill-out. A més a més, l'energia obtinguda servirà per alimentar la bomba d'aigua del mòdul de dutxes. Per a tenir una idea del consum de cadascun dels elements d'una carpa, s'han tingut en compte les potències i unitats següents:

Càrrega	Potència unitària [W]	Unitats	Potència [W]
Cafetera	1.300	2	2.600
Cuina elèctrica	3.000	2	6.000
Microones	600	2	1.200
Nevera	400	2	800
Torradora	800	2	1.600
Il·luminació LED	50	10	500
Altaveus	100	2	200
Mòbil	10	20	200
Ordinador portàtil	100	4	400
Dutxes	2.200	1	2.200
TOTAL			15.700

Taula 5-3. Potències de les càrregues elèctriques d'una carpa

La potència total de la Taula 5-3 és igual a la suma de potències de totes les càrregues si s'utilitzessin a màxima potència simultàniament, que és de 15.700 W. Tot i així, aquesta situació no tindrà lloc i cal aplicar un coeficient de simultaneïtat per a poder definir la potència de línia necessària. El coeficient de simultaneïtat indica el percentatge d'ús màxim que s'espera de la instal·lació, que en aquest cas es considerarà del 60%. La potència simultània es calcula de la següent manera:

$$P_{sim} = P_{m\grave{a}x} \times C_{sim} = 15.700 \times 0,6 = 9.420 \text{ W}$$

Ara bé, totes aquestes càrregues elèctriques no s'estaran utilitzant a la mateixa potència durant tot el temps, sinó que el seu ús variarà al llarg del dia. S'ha fet una estimació del percentatge d'ús de cada càrrega durant cada hora, simulant un dia típic d'ocupació mitjana en el qual s'utilitzen tots els serveis. El gràfic de la Figura 5-7 mostra l'evolució del consum d'electricitat al llarg del dia, obtingut de multiplicar el percentatge d'ús horari per la potència de cada grup de càrregues. Es pot observar que els períodes de major demanda es concentren en el temps dels àpats principals, que coincidiran amb temps d'esbarjo i cuina.

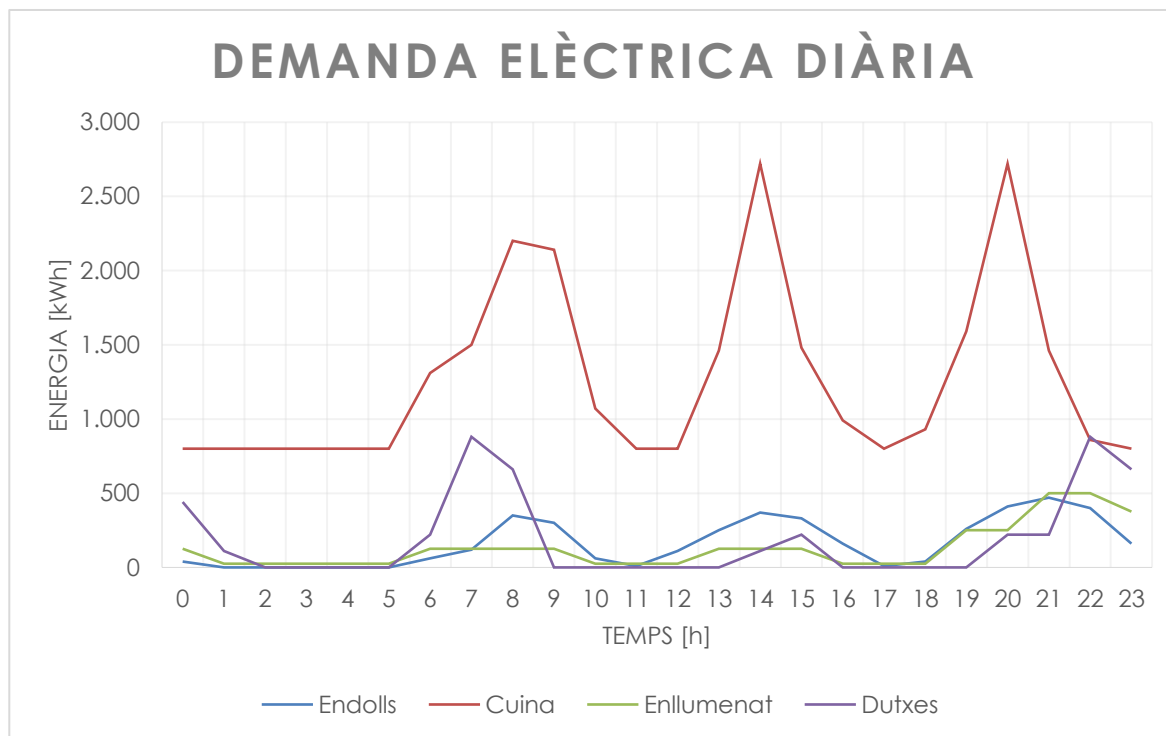


Figura 5-7. Demanda d'energia elèctrica diària d'una carpa segons la càrrega

De la suma de l'energia consumida per les diferents càrregues a cada hora del dia, se n'obté l'energia que haurà de proporcionar la instal·lació fotovoltaica de la coberta. En la Figura 5-8 es pot observar que algunes de les demandes energètiques més importants són a partir de les 19h, quan la irradiació solar és molt més baixa. Durant la nit, encara que no s'espera que hi hagi usuaris a la carpa, existeix un consum constant degut principalment a les neveres.

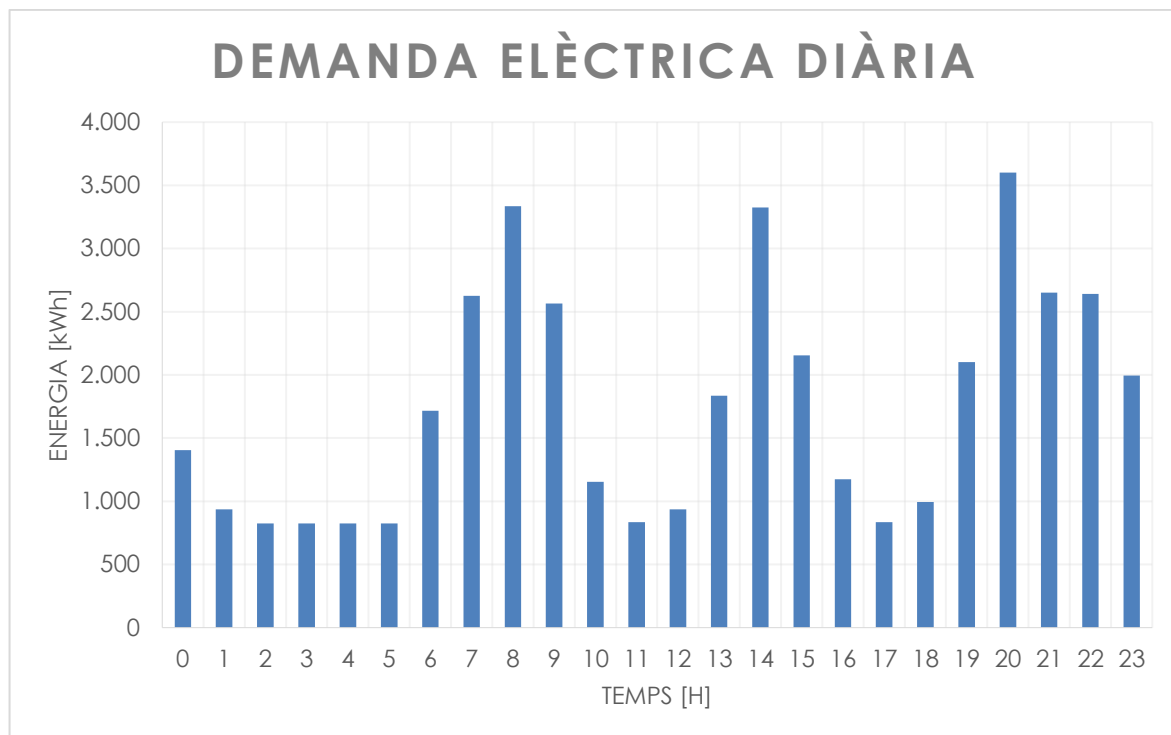


Figura 5-8. Demanda elèctrica diària d'una carpa

La demanda energètica total durant un dia de completa utilització dels serveis és d'aproximadament 42,1 kWh. Per esdeveniments que només duren un cap de setmana, suposant que la demanda durant un divendres és igual a la del dissabte entre les 13h i les 24h, i que el diumenge és igual però de 00h a 18h, s'obté que l'energia que cal proporcionar en aquests esdeveniments és:

Dia	Demanda elèctrica [kWh/dia]
Divendres	23,3
Dissabte	42,1
Diumenge	29,1

Taula 5-4. Demanda elèctrica d'una carpa durant el cap de setmana

Si es considera que la carpa només s'utilitzarà per esdeveniments de cap de setmana i durant la setmana no se'n farà ús, la demanda energètica setmanal equival a aproximadament 94,5 kWh/setmana, de manera que anualment una carpa consumirà uns 4.920 kWh/any. El consum del *Smart Moto Challenge* es pot considerar similar durant tota la setmana, per tant la demanda energètica d'aquest esdeveniment en concret és de 294,8 kWh.

6. Acotació del sistema solució

El sistema que es vol instal·lar en aquest projecte no estarà connectat a la xarxa elèctrica, per tant haurà d'estar equipat amb bateries i tenir els elements propis d'una instal·lació per a l'autoconsum. A més, com que estarà instal·lat a la coberta d'una carpa i el pes que pot suportar és limitat, caldrà que els mòduls fotovoltaics siguin tan lleugers com sigui possible.

Es convenient comparar opcions de diversos fabricants i instal·ladors per cada component abans de prendre una decisió final. A continuació, es mostra una selecció dels productes de proveïdors locals i internacionals amb possibilitat de subministrament a Catalunya, que més s'apropen a les necessitats del sistema i de les seves característiques, per tal de poder fer-ne una comparació adequada i escollir els productes amb les millors prestacions. Només s'escolliran els components determinants del sistema, deixant de banda la tria dels cables, interruptors de tall i altres petits components del circuit elèctric.

Per a poder escollir el model que millor s'ajusta a les necessitats requerides, es farà una comparació objectiva de totes les opcions presentades, tenint en compte els paràmetres més rellevants de cada component. S'utilitzarà un sistema de puntuació valorant en una escala del 0 al 10 els trets clau i s'atorgarà a cadascun un percentatge d'importància. D'aquesta manera s'obtindrà una nota que indicarà el grau d'adequació al projecte.

6.1. Sistema de captació fotovoltaic

Les lones fotovoltaïques flexibles tenen com a principal objectiu proporcionar una solució adaptable a qualsevol superfície, lleugera i de fàcil instal·lació, sense comprometre'n la robustesa ni l'eficiència. Entre les diferències que es pugin trobar entre fabricants i models, les més significatives seran la potència de pic (expressada en Wp), l'eficiència, el pes per metre quadrat, els materials utilitzats i els formats disponibles.

A continuació es presenten quatre fabricants europeus i els models de lones fotovoltaïques disponibles amb les característiques clau. Tots compleixen amb la normativa de la Unió Europea i ofereixen una garantia de 5 anys pel producte i una garantia del 80% de potència mínima a 25 anys.

Fabricant	Característiques
<p>Opció 1: UNI-SOLAR</p> 	<p>UNI-SOLAR és un dels principals fabricants de panells fotovoltaïcs flexibles, amb una ampla trajectòria i present a Europa i Estats Units. Entre els seus productes d'escala comercial s'hi troba el PowerBond PLV en dues llargades, amb potències nominals de 68, 136 o 144 Wp. Està composta de cèl·lules de silici amorf i un pes mitjà de 3,6 kg/m² (no s'especifica l'eficiència dels mòduls a la fitxa tècnica).</p>
<p>Opció 2: DAS - Energy</p> 	<p>DAS – Energy és una companyia austríaca especialitzada en la recerca i desenvolupament de tecnologies fotovoltaïques flexibles. Entre els seus productes hi ha mòduls de 3 mides diferents i potències entre 102 Wp i 335 Wp, amb cèl·lules mono i policristal·lines de silici, tot i que també ofereixen solucions a mida sota demanda. El pes mitjà és de 2,5 kg/m² (no s'especifica l'eficiència dels mòduls a la fitxa tècnica).</p>
<p>Opció 3: SOLBIAN</p> 	<p>Solbian és una empresa italiana que fabrica mòduls fotovoltaïcs flexibles lleugeres amb una eficiència elevada, utilitzant silici mono i policristal·lí. En el seu catàleg de productes hi ha una gran varietat de mòduls flexibles de diferents dimensions i potències en sèries segons es vulgui maximitzar la potència, la robustesa o l'estètica. El pes mitjà dels mòduls és de 2,2 kg/m² i l'eficiència pot arribar al 23%.</p>
<p>Opció 4: TSO</p> 	<p>TSO (<i>The South Oracle</i>) és una empresa espanyola especialitzada en tecnologies solars. La seva sèrie de mòduls flexibles s'anomena <i>eArche</i> i cobreix un rang de potències entre 35 i 325 Wp, fabricades amb silici mono i policristal·lí. L'eficiència dels mòduls mitjana és del 16% i garanteix la robustesa davant de càrregues de vent i neu elevades, amb un pes mitjà és de 3 kg/m².</p>

Taula 6-1. Presentació de les opcions de mòduls fotovoltaïcs

La superfície a cobrir per les lones fotovoltaïques és considerarà de 50 m², considerant la llargada de la carpa de 12 m i una mica més de 4 m del lateral al centre, tenint en compte la inclinació si no es modifica l'estructura (veure l'apartat 6.2). Tot i que a la pràctica es podria demanar als fabricants una solució a mida, es farà la comparació dels mòduls predeterminats

que ofereixen. Es valorarà la potència de pic que es pot arribar a obtenir cobrint la superfície de 50 m² (30%), el pes total sobre la coberta (20%) i el preu total dels mòduls (50%).

Model	UNI-SOLAR a-Si	DAS Energy p-Si	SOLBIAN m-Si	TSO p-Si
Longitud [mm]	5.412	2.024	1.363	1.960
Amplada [mm]	373	991	546	990
Dimensions [m ²]	2,02	2,01	0,74	1,94
Potència unitària [Wp/mòdul]	144	305	130	315
Potència/superfície [Wp/m ²]	71,3	152,1	174,7	162,3
Nombre de mòduls	22	24	63	24
Pes [kg/mòdul]	7,4	6,7	1,7	6,8
Preu unitari [€/mòdul]	165	-	884	-
Preu per potència [€/Wp]	1,15	1,83	6,80	2,72
Superfície coberta	44,41	48,14	46,88	46,57
Potència màxima de pic [Wp]	3.168	7.320	8.190	7.560
Pes total [kg]	163	161	107	163
Preu total [€]	3.630	13.410	55.692	20.563

Taula 6-2. Dades tècniques dels mòduls fotovoltaics

Amb les dades que es mostren a la Taula 6-2, s'ha atorgat la millor nota de cada paràmetre al model que presenta les millors característiques. Tenint en compte la resta de valors, s'ha establert la escala lineal de la Taula 6-3, per valorar els diferents productes del 0 al 10. El preu total dels mòduls monocristal·lins queda fora del rang i donarà un valor negatiu en la valoració, però per les característiques del projecte és massa elevat per tenir-lo en compte.

	Millor valor (10)	Pitjor valor (0)
Potència màxima de pic [Wp]	8.190	2.000
Pes total [kg]	71	250
Preu [€]	3.630	30.000

Taula 6-3. Escala utilitzada per la comparació dels mòduls fotovoltaics

		UNI-SOLAR a-Si	DAS Energy p-Si	SOLBIAN m-Si	TSO p-Si
Potència màxima de pic	30%	1,9	8,6	10,0	9,0
Pes total	20%	6,1	6,2	10,0	6,1
Preu	50%	10,0	6,3	-9,7	3,6
Total	100%	6,8	7,0	0,1	5,7

Taula 6-4. Comparació dels mòduls fotovoltaïcs

Com es pot observar a la Taula 6-4, la opció que presenta les millors característiques segons els paràmetres valorats és el mòdul fotovoltaic fabricat per DAS Energy, seguida del mòdul d'Unisolar. Cal tenir en compte que el sistema de puntuació és simplement una eina per donar objectivitat a la valoració. En aquest cas, existeix una discrepància significant en el preu dels mòduls segons el material utilitzat, així que cal escollir entre silici amorf amb una eficiència reduïda però un preu competitiu o silici policristal·lí, que aconsegueix el doble de potència amb la mateixa superfície, però multiplicant el preu per quatre.

Per aquest projecte en concret s'escolliran els mòduls d'Unisolar, ja que es podria considerar com un projecte pilot en el qual es convenient reduir els costos. Si es volgués disposar de més potència es podria canviar senzillament de mòduls solars, però en aquest cas s'intentarà augmentar la potència obtinguda amb el sistema fotovoltaic modificant l'estructura i si no fos suficient per cobrir tota la demanda energètica estimada a l'apartat 5.4, es podria prescindir d'alguna càrrega, ja que al cap i a la fi només són una suposició.

6.2. Tipus d'estructura

L'estructura que s'ha tingut en compte fins ara és una carpa estàndard de 12 metres de longitud i 8 d'amplada, amb una coberta formada per dos plans inclinats que es tallen a l'eix central longitudinal. En aquest cas, només es podria utilitzar la meitat de la coberta, que té el seu punt més alt a 3,85 m i el més baix a 2,6 m, formant un angle amb el pla horitzontal de 17,35°. En aquest cas, tenint en compte un rendiment dels mòduls fotovoltaïcs del 7% i la superfície de coberta suficient per instal·lar 22 mòduls, l'energia obtinguda al llarg de l'any és la següent:

Mes	Irradiació [kWh/m2]	Energia mensual [kWh/mes]	Dies	Energia diària [kWh/dia]
-----	------------------------	---------------------------------	------	--------------------------------

Gener	91,6	284,6	31	9,2
Febrer	109,5	340,3	28	12,2
Març	160,6	499,3	31	16,1
Abril	173,4	539,1	30	18,0
Maig	206,5	642,0	31	20,7
Juny	216,2	672,1	30	22,4
Juliol	227,1	706,0	31	22,8
Agost	204,7	636,4	31	20,5
Setembre	162,7	505,8	30	16,9
Octubre	129,5	402,6	31	13,0
Novembre	94,2	292,8	30	9,8
Desembre	82,8	257,5	31	8,3
Total anual	1.858,7	5.778,4	365	189,7

Taula 6-5. Energia diària obtinguda amb l'estructura original

Com es pot observar a la Taula 6-5, aquesta no és suficient per cobrir la demanda d'un dia de ple funcionament, que s'espera que sigui de 37,5 kWh. Caldrà doncs buscar una manera d'incrementar l'energia obtinguda si es volen seguir utilitzant aquests mòduls fotovoltaics. Si no es volguessin fer canvis a l'estructura, es podria fer servir una tecnologia de captació solar més eficient.

A continuació s'estudien tres modificacions de la coberta que permetran obtenir una major potència conservant la mateixa superfície de terra de la carpa i a la vegada intentant no comprometre l'estabilitat de l'estructura. Si es vol mantenir una estructura fixa utilitzant tota la coberta com a superfície de captació caldria una alçada al punt més alt de 8,2 m, fent que l'estructura fos molt inestable. Caldrà trobar una solució viable jugant amb l'alçada, l'angle d'inclinació i la posició del punt màxim, per tal de trobar la solució que millor s'escaigui.

6.2.1. Coberta amb dues superfícies inclinades a 35°

La opció més senzilla és mantenir la forma principal de l'estructura modificant l'alçada del punt més alt de la coberta per aconseguir un angle de 35° a cada banda. D'aquesta manera, el punt més alt seria de 5,4 m, 1,45 m més alt que la carpa estàndard. La superfície de captació serà de 4,88x8 m, de tal forma que es podria incrementar lleugerament el nombre de mòduls fotovoltaics utilitzats. Utilitzant 26 mòduls es podria cobrir una superfície de 52,49 m².

Mes	Irradiació [kWh/m2]	Energia mensual [kWh/mes]	Dies	Energia diària [kWh/dia]	Millora respecte l'estructura original
Gener	111,9	411,2	31	13,3	44%
Febrer	127,3	467,7	28	16,7	37%
Març	174,7	641,8	31	20,7	29%
Abril	175,0	642,9	30	21,4	19%
Maig	197,6	726,0	31	23,4	13%
Juny	201,2	739,2	30	24,6	10%
Juliol	213,8	785,5	31	25,3	11%
Agost	201,8	741,4	31	23,9	17%
Setembre	171,7	630,8	30	21,0	25%
Octubre	146,3	537,5	31	17,3	34%
Novembre	113,3	416,3	30	13,9	42%
Desembre	102,9	378,2	31	12,2	47%
Total anual	1.937,6	7.118,7	365	233,9	23%

Taula 6-6. Energia diària obtinguda modificant l'angle d'inclinació

Si es comparen els resultats obtinguts amb el cas anterior, es pot observar que l'energia total anual obtinguda augmenta un 23% respecte el cas base. Donant un cop d'ull a l'energia diària mitjana obtinguda cada mes, es veu que augmenta aproximadament uns 3 kWh al dia, produint-se un augment més important a l'hivern. D'altra banda, la modificació de l'angle d'inclinació fa que durant els mesos d'hivern la irradiació que rep la superfície de mitjana sigui major, però durant els mesos d'estiu és menor. El total anual d'irradiació rebuda augmenta en tan sols un 4% degut a la modificació de l'angle. Per tant, l'augment de la superfície de captació és més significatiu.

6.2.2. Coberta d'una sola pendent $h=4$ m

Veient els resultats obtinguts en l'apartat anterior, es considerarà l'opció d'utilitzar tota la superfície de coberta disponible, sense modificar significativament l'alçada màxima de la carpa. En aquest cas, es reduiria encara més l'angle d'inclinació però es podria utilitzar una superfície major. Si s'estableix l'alçada màxima de 4 metres i es situa a un lateral enlloc de a la part central, l'angle d'inclinació passa a ser de $9,93^\circ$ i la superfície de captació augmenta a

84,78 m² utilitzant 42 mòduls solars.

Mes	Irradiació [kWh/m ²]	Energia mensual [kWh/mes]	Dies	Energia diària [kWh/dia]	Millora respecte l'estructura original
Gener	81,1	481,4	31	15,5	69%
Febrer	99,5	590,4	28	21,1	74%
Març	151,0	896,2	31	28,9	79%
Abril	169,3	1.004,8	30	33,5	86%
Maig	206,1	1.223,2	31	39,5	91%
Juny	218,0	1.293,8	30	43,1	92%
Juliol	227,9	1.352,6	31	43,6	92%
Agost	201,5	1.195,9	31	38,6	88%
Setembre	155,5	922,9	30	30,8	82%
Octubre	119,6	709,8	31	22,9	76%
Novembre	84,1	498,9	30	16,6	70%
Desembre	72,6	430,8	31	13,9	67%
Total anual	1.786,2	10.600,6	365	348,0	83%

Taula 6-7. Energia diària obtinguda augmentant la superfície de captació

En la Taula 6-7 es pot observar que tot i comprometre l'angle de captació òptim, resulta més beneficiós augmentar la superfície de captació. Durant els mesos de juny i juliol s'aconsegueix obtenir un 92% més d'energia amb aquesta estructura que amb l'estructura original.

6.2.3. Estructura amb inclinació regulable

La posició del sol varia durant l'any, i per tant, també ho fa l'angle d'incidència de la radiació solar directa amb el pla horitzontal. A la zona de Castellolí, el 21 de desembre es troba en el punt més baix, formant un angle de 25° amb el pla horitzontal, mentre que el 21 de juny, es troba al punt més alt, amb un angle de 72°. Això vol dir que, tot i que l'angle òptim d'inclinació respecte el pla horitzontal de la superfície de captació sigui de 35° per maximitzar l'energia obtinguda durant l'any, en realitat l'angle òptim varia entre els 18° a l'estiu i els 65° a l'hivern. Tenint en compte la radiació difusa, aquest rang d'angles es pot veure encara més ampliat.

El fet de ser una estructura desmuntable vol dir que per l'ús que se'n farà, s'estarà muntant i desmuntant l'estructura regularment, això dona la oportunitat de fer una petita variació cada

vegada que es munta i ajustar l'angle de la coberta de manera que s'obtingui el màxim rendiment possible segons la posició del sol. La modificació de l'angle d'inclinació segons el dia de l'any permetrà obtenir un rendiment encara major del sistema.

Per a poder aconseguir això, caldrà dissenyar l'estructura de manera que la coberta es pugui muntar en diferents posicions. Cal tenir en compte que una modificació de l'angle d'inclinació suposarà una variació en la superfície de la coberta, i la tela que fa de coberta ha de seguir cobrint la totalitat de la carpa. A més, un angle excessivament elevat podria comprometre l'estabilitat de l'estructura.

Conservant l'estructura de l'apartat anterior, amb el punt màxim al lateral que permet maximitzar la superfície de captació de la coberta, modificar l'angle de la coberta modificant només la cota màxima, significa que per a poder tenir un angle de 18° és necessari que el punt màxim de la carpa faci 5,2 m d'alçada. Aquest valor ja és prou elevat com per pensar que podrà ocasionar problemes de robustesa en l'estructura, però per aconseguir un angle de 65° , caldria arribar als 20 m d'alçada.

Intentant mantenir unes dimensions més realistes, es proposa reduir l'alçada mínima de la coberta a 1,5 m, una alçada que permet estar assegut a la taula o a la zona de descans sense problemes. A més, només es consideraran només quatre posicions, amb angles de 13° , 18° , 23° i 28° , que tindran una alçada màxima de 3,35 m, 4,1 m, 4,9 m i 5,75 m respectivament. En aquest cas, la superfície de captació augmenta respecte el cas anterior, permetent instal·lar 44 mòduls fotovoltaïcs a la coberta.

La

Mes	Angle [°]	Irradiació [kWh/m2]	Energia mensual [kWh/mes]	Dies	Energia diària [kWh/dia]	Millora respecte l'estructura original
Gener	28	104,7	651,2	31	21,0	129%
Febrer	28	121,1	752,9	28	26,9	121%
Març	28	170,7	1.061,3	31	34,2	113%
Abril	28	175,9	1.093,7	30	36,5	103%
Maig	13	206,7	1.285,2	31	41,5	100%
Juny	13	217,4	1.351,7	30	45,1	101%
Juliol	13	227,9	1.417,0	31	45,7	101%
Agost	23	205,7	1.278,9	31	41,3	101%
Setembre	28	169,5	1.053,9	30	35,1	108%
Octubre	28	140,9	876,0	31	28,3	118%
Novembre	28	106,7	663,2	30	22,1	126%

Desembre	28	95,9	596,0	31	19,2	131%
Total anual		1.943,1	12.081,0	365	396,8	109%

Taula 6-8 mostra quin d'aquests angles permet una major obtenció d'energia mensual, així com l'energia diària que es pot obtenir cada mes i el percentatge de millora respecte l'estructura original:

Mes	Angle [°]	Irradiació [kWh/m2]	Energia mensual [kWh/mes]	Dies	Energia diària [kWh/dia]	Millora respecte l'estructura original
Gener	28	104,7	651,2	31	21,0	129%
Febrer	28	121,1	752,9	28	26,9	121%
Març	28	170,7	1.061,3	31	34,2	113%
Abril	28	175,9	1.093,7	30	36,5	103%
Maig	13	206,7	1.285,2	31	41,5	100%
Juny	13	217,4	1.351,7	30	45,1	101%
Juliol	13	227,9	1.417,0	31	45,7	101%
Agost	23	205,7	1.278,9	31	41,3	101%
Setembre	28	169,5	1.053,9	30	35,1	108%
Octubre	28	140,9	876,0	31	28,3	118%
Novembre	28	106,7	663,2	30	22,1	126%
Desembre	28	95,9	596,0	31	19,2	131%
Total anual		1.943,1	12.081,0	365	396,8	109%

Taula 6-8. Energia diària obtinguda amb alçada regulable

Com es pot observar, l'energia obtinguda d'aquesta manera és com a mínim el doble de l'energia obtinguda amb l'estructura original. Durant els mesos d'estiu s'obtenen més de 40 kWh diaris, de manera que es cobreix totalment la demanda energètica d'un dia, i existeix un marge prou important que permetrà acumular energia extra a les bateries per si els dies següents les condicions climatològiques són desfavorables. A la tardor i l'hivern, la manca d'energia es podria solucionar reduint el consum o instal·lant la carpa un dia abans de l'inici dels esdeveniments per acumular l'energia necessària a les bateries.

6.2.4. Annex lateral amb inclinació variable

Adicionalment, es podria augmentar la superfície de captació afegint un voladís amb mòduls fotovoltaïcs al lateral de la carpa. L'angle d'inclinació seria fàcilment regulable i no suposaria canvis addicionals en l'estructura principal.

Es considera una lona de 2x12 m situada longitudinalment al lateral de la carpa amb azimuth 0°, que allotja 10 mòduls fotovoltaïcs. De la mateixa manera que els voladissos de les tendes d'acampada, un lateral està subjecte a l'estructura principal, mentre que l'altre extrem és suportat per uns pals clavats a terra, d'alçada regulable.

Prenent intervals de 5° des dels 5° d'inclinació respecte al pla horitzontal fins a 50°, s'ha calculat l'energia que es pot obtenir cada més, i s'han escollit els angles corresponents a l'energia màxima. Angles d'inclinació més elevats requeririen una superfície de captació més petita, i com s'ha pogut veure en els casos anteriors, és més beneficiós augmentar la superfície de captació que aconseguir l'angle òptim.

Mes	Angle [°]	Irradiació [kWh/m2]	Energia mensual [kWh/mes]	Dies	Energia diària [kWh/dia]
Gener	50	121,9	172,2	31	5,6
Febrer	50	134,6	190,2	28	6,8
Març	45	177,1	250,3	31	8,1
Abril	30	175,9	248,6	30	8,3
Maig	15	206,9	292,4	31	9,4
Juny	10	218,0	308,0	30	10,3
Juliol	10	227,9	322,0	31	10,4
Agost	25	205,4	290,2	31	9,4
Setembre	40	171,8	242,8	30	8,1
Octubre	50	151,8	214,5	31	6,9
Novembre	50	122,7	173,4	30	5,8
Desembre	50	113,3	160,2	31	5,2
Total anual		2.027,3	2.864,8	365	94,1

Taula 6-9. Energia diària obtinguda amb voladís d'alçada regulable

Com es pot observar en la Taula 6-9, afegir un voladís d'aquestes característiques permet incrementar l'energia captada en 10 kWh/dia a l'estiu i com a mínim 5 kWh/dia a l'hivern. Això representa aproximadament una quarta part de l'energia obtinguda per la resta de la coberta,

de manera que suposa un augment significatiu de les possibilitats de captació d'energia.

6.2.5. Estructura regulable automàtica

La manera d'aconseguir obtenir el màxim rendiment de la instal·lació solar, és aconseguir que la superfície de les lones fotovoltaïques rebi la màxima irradiació solar possible. Això es pot aconseguir mitjançant una estructura mòbil, que orienti la superfície de captació constantment cap a la direcció del sol al llarg del dia.

Les centrals solars fotovoltaïques de grans dimensions solen incorporar aquest tipus d'estructures per tal d'utilitzar els seus recursos a la màxima capacitat. Aquests sistemes presenten un cost elevat, degut a una major dificultat tècnica tant en les etapes de disseny com en la implementació. El fet de tenir un nombre considerable de parts mòbils fa que el seu manteniment sigui més costós i la vida útil més reduïda degut a la fricció entre peces.

Si es pogués implementar un sistema d'aquestes característiques, l'energia bruta que es podria obtenir de la lona fotovoltaïca es podria considerar la màxima energia teòrica que es pot aconseguir en aquest projecte. Tanmateix, la complexitat i el cost d'una estructura d'aquest tipus excedeixen les possibilitats del sistema d'aquest projecte. De totes maneres s'ha calculat l'energia que es podria obtenir, per utilitzar-la en la comparació de la resta de propostes.

6.2.6. Comparació de les estructures

En aquest apartat es compara l'energia diària mitjana que es pot obtenir cada mes amb les quatre estructures bàsiques explicades en els apartats anteriors, per tal de poder valorar més fàcilment quina opció ofereix més avantatges. En resum, es consideraran les quatre opcions següents, amb i sense voladís:

- **Opció 1:** estructura de carpa estàndard, sense modificar-ne les dimensions ($\alpha = 18^\circ$)
- **Opció 2:** estructura de carpa estàndard amb una alçada superior per aconseguir l'angle d'inclinació òptim ($\alpha = 35^\circ$)
- **Opció 3:** estructura amb el punt d'alçada màxim desplaçat al lateral ($\alpha = 10^\circ$)
- **Opció 4:** estructura amb el punt d'alçada màxima desplaçat al lateral i inclinació regulable ($\alpha = 13^\circ 18^\circ 23^\circ 28^\circ$)

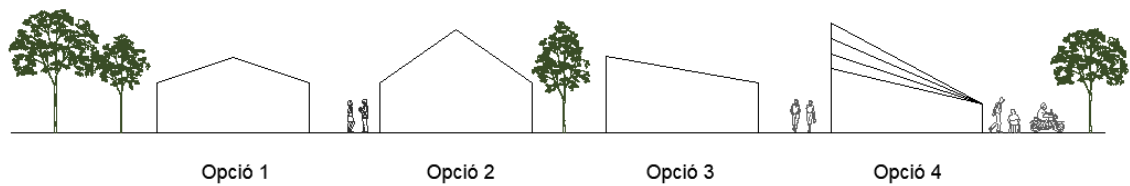


Figura 6-1. Alçat a escala de les quatre opcions d'estructures

A continuació es mostra l'energia mitjana que es pot arribar a obtenir durant un dia de cada mes, amb cadascuna de les quatre estructures considerades (veure Figura 6-2). La línia contínua representa l'energia que s'obté sense fer ús del voladís, i la línia discontinua inclou l'energia obtinguda per la instal·lació de la coberta més el voladís.

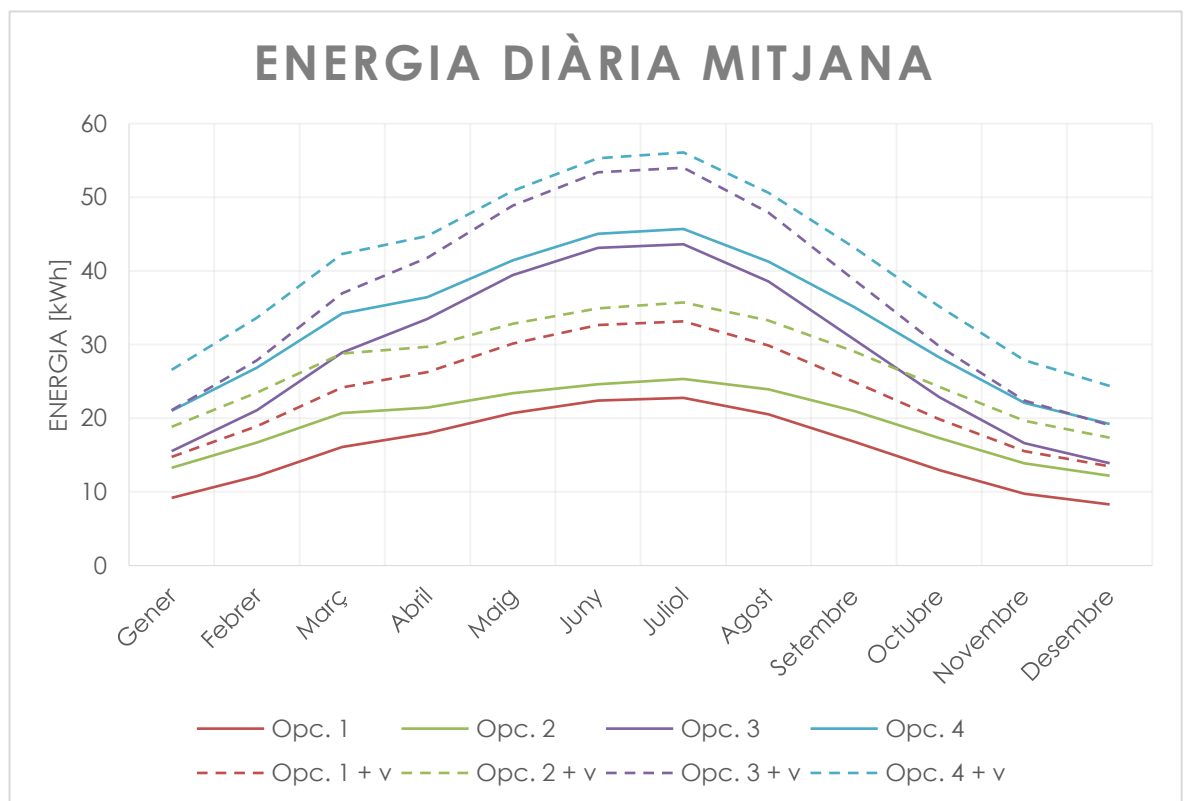


Figura 6-2. Energia diària mitjana obtinguda amb cada estructura

S'observa que durant els mesos d'estiu, l'energia obtinguda amb les opcions 3 i 4, que utilitzen tota la coberta, és evidentment el doble que l'energia obtinguda amb les opcions 1 i 2, que només empen la meitat de la coberta. Ara bé, durant els mesos d'hivern aquesta diferència ja no és tan significativa.

Considerant que la major part d'esdeveniments que faran ús de la zona d'acampada tindran lloc entre el març i l'octubre, s'opta per les opcions 3 i 4, que permeten captar una major part d'energia solar. Donat que la competició per la qual es dissenya aquest sistema és el *Smart Moto Challenge*, que té lloc al Juliol, s'ha decidit escollir l'opció 3 amb l'angle de 13° enlloc de 10°, ja que permet afegir dos mòduls fotovoltaics més i, per tant, incrementar l'energia obtinguda durant tot l'any.

6.3. Sistema d'emmagatzematge d'energia

Les bateries són un dels elements més importants de les instal·lacions fotovoltaïques destinades a l'autoconsum. L'elecció d'una bateria que s'adeqüi a les necessitats del sistema és clau per assegurar que es podrà cobrir tota la demanda energètica. En aquest cas, tot i ser una aplicació que es pot desmuntar i canviar de lloc, no és necessari intentar reduir el pes, ja que es pot designar un lloc fix per les bateries en el terreny d'acampada que pertany al Parcmotor de Castellolí. És important que el manteniment de les bateries no sigui excessiu o que es disposi de servei tècnic proper. Altres característiques importants que cal tenir en compte a l'hora d'escollir una bateria són la capacitat, el cost, la robustesa, la toxicitat i l'impacte ambiental.

La quantitat d'energia útil emmagatzemada en una bateria es mesura en amp-hores (Ah). Una bateria de 100 Ah, per exemple, és capaç de subministrar 5 A durant 20h. En instal·lacions domèstiques, es solen utilitzar bateries de 100 Ah com a mínim, per a poder suportar les càrregues dels electrodomèstics d'elevada potència. Generalment s'utilitzen bateries de plom, ja que en ser instal·lacions fixes no cal que siguin lleugeres, reduint els costos totals de la instal·lació. En aplicacions mòbils on és important minimitzar el pes, com caravanes o embarcacions, s'utilitzen bateries més petites, d'aproximadament 33 Ah i també s'aposta per tecnologies més lleugeres, com les bateries de liti.

En el cas del sistema fotovoltaic per les competicions del Parcmotor de Castellolí, es volen reutilitzar bateries de vehicles elèctrics que ja no són adequades per a l'automoció perquè han perdut part de la seva capacitat degut a l'ús, disminuint l'autonomia dels vehicles que les utilitzen. La capacitat d'aquestes bateries és d'aproximadament el 70% de la capacitat màxima, però com que ja han servit la funció per la qual han estat dissenyades, es poden aconseguir a un preu molt més baix que si es volguessin fer servir bateries de Liti noves. El fet de tenir a disposició bateries de Liti, reduirà significativament les dimensions i el pes de la instal·lació, contribuint a la facilitat de transport que es busca en un sistema d'aquestes característiques.

Concretament, les bateries que es volen utilitzar són les que porten els Nissan e-NV220, ja que la producció d'aquest model de vehicles elèctrics és a Barcelona, a Nissan Motor Ibérica, amb seu al polígon industrial de la Zona Franca. La bateria d'aquests vehicles està fabricada per *Automotive Energy Supply Corporation (AESC)* i porta el nom de *Nissan Leaf*. És una bateria de Liti-í amb una capacitat de 24 kWh, que dona una autonomia de 170 km als vehicles que la porten. Els primers models es van posar en circulació el 2011, i els models més recents (a partir del 2018) tenen una capacitat de 40 kWh.

Les bateries de 24 kWh estan formades per 48 mòduls de 4 cèl·lules de bateries de Liti cadascun. Cada cèl·lula té un pes aproximat d'1kg, per tant el pes total de la bateria és d'aproximadament 192 kg. S'estima que aquestes bateries tenen una vida útil de 10 anys, i que la seva capacitat al final de la vida útil és d'entre el 70% i 80%, depenent de l'ús que se n'hagi fet i de factors ambientals. Això significa que la capacitat de la bateria quan s'utilitzi pel sistema fotovoltaic serà en realitat de 17 kWh. La recàrrega completa de les bateries amb una connexió de 240 V dura 8 hores amb un carregador de 3,6 kW o 4 hores amb un de 6,6 kW.

El cost de reemplaçament de les bateries per als propietaris de e-NV200 al 2018 oscil·la entre 3.000 \$ i 8.500 \$ segons el mercat. Com que es vol utilitzar les bateries un cop han arribat a la fi de la seva vida útil, es considerarà un preu simbòlic de 200 € per bateria, tot i que aquest dependrà de les condicions que estableixi el venedor de segona mà.

6.4. Regulador de càrrega i inversor

Els reguladors de càrrega i inversors no presenten tantes diferències tècniques entre diferents models, sinó que les característiques necessàries venen determinades per la potència i el voltatge del sistema. Per aquest motiu, s'han escollit un inversor que actua també com a regulador de càrrega, sense donar tanta importància a la comparació entre diferents models i fabricants. Com s'ha calculat en apartats anteriors, la potència instal·lada en el sistema que es vol alimentar és de 15.700 W i la potència simultània, de 9.420 W. L'inversor que s'instal·li ha de poder suportar com a mínim la potència simultània esperada si no es vol tenir talls en el subministrament constantment.

L'inversor PV35-10K, del fabricant Must Solar, és un aparell multifunció capaç d'alimentar les càrregues elèctriques típiques d'un habitatge. Serveix d'inversor, regulador de càrrega i que compta amb proteccions contra sobrecàrregues, descàrregues profundes i curtcircuits. El regulador que porta incorporat és del tipus MPPT, que significa que permet obtenir la màxima potència dels panells solar (*Maximum Power Point Tracking*). A més, compta amb una pantalla LCD que ofereix opcions configurables per l'usuari i facilita la utilització i monitorització de tot

el sistema fotovoltaic.

El preu d'aquest inversor a la botiga en línia d'Autosolar, especialitzada en tot tipus d'aparells dedicats a l'energia solar fotovoltaica, és de 1.813,14 € (IVA inclòs). A continuació es resumeixen les característiques principals del model escollit:

Must Solar PV35-10K		
Característiques de l'inversor	Potència de l'inversor	10 kW
	Eficiència de l'inversor	88%
	Potència de pic (20ms)	30 kW
	Voltatge nominal sortida	220/230/240 V
	Freqüència de sortida	50/60 Hz
Característiques del regulador de càrrega	Màxima corrent de càrrega	120 A
	Voltatge CC	48 V
	Potència de càrrega	3200 W
	Eficiència màxima	98%
Característiques físiques	Dimensions	884x618x443 mm
	Pes	95,5 kg
	Rang de temperatures de treball	0°C – 40°C
	Nivell sonor màxim	60 dB
	Pantalla	LED+LCD

Taula 6-10. Dades tècniques de l'inversor-regulador

7. Sistema solució considerat

7.1. Detalls del sistema solució

L'estructura del sistema que donarà solució al problema proposat serà una carpa de 8x12 m amb una alçada mínima de 2,6 m i màxima de 4,45 m. La coberta serà una sola superfície plana que anirà del punt màxim al mínim amb una inclinació constant de 13° amb el pla horitzontal. Quan es munti la carpa, s'haurà de parlar especial atenció a que el lateral d'alçada inferior estigui al sud, de manera que la orientació dels mòduls solars tingui un azimuth de 0°. En aquest lateral, s'hi afegirà un voladís de 2 m amb alçada regulable que permetrà augmentar la superfície de captació soltar.

En total s'instal·laran 44 mòduls fotovoltaics flexibles de la marca Uni-Solar i 10 mòduls més al voladís. L'energia total obtinguda durant un dia en el mes de juliol s'estima que serà de 55,3 kWh, sense tenir en compte encara les pèrdues degudes als components del sistema. Aquesta serà suficient per cobrir la demanda d'aproximadament 40 kWh diaris.

Mes	Irradiació 13° [kWh/m2]	Energia coberta [kWh/mes]	Dies	Energia coberta [kWh/dia]	Energia voladís [kWh/dia]	Energia total [kWh/dia]
Gener	85,5	531,8	31	17,2	5,6	22,7
Febrer	103,8	645,1	28	23,0	6,8	29,8
Març	155,2	965,0	31	31,1	8,1	39,2
Abril	171,1	1.063,8	30	35,5	8,3	43,7
Maig	206,7	1.285,2	31	41,5	9,4	50,9
Juny	217,4	1.351,7	30	45,1	10,3	55,3
Juliol	227,9	1.417,0	31	45,7	10,4	56,1
Agost	202,9	1.261,5	31	40,7	9,4	50,1
Setembre	158,6	986,1	30	32,9	8,1	41,0
Octubre	123,8	769,7	31	24,8	6,9	31,7
Novembre	88,3	549,1	30	18,3	5,8	24,1
Desembre	76,9	478,1	31	15,4	5,2	20,6

Figura 7-1. Energia diària obtinguda cada mes amb el sistema solució

El sistema estarà equipat amb dues bateries Nissan Leaf de 26 kWh cadascuna de segona mà amb una capacitat del 70%. Per tant, la capacitat total d'emmagatzematge serà de 33,6

kWh, suficient per l'ús quan la radiació solar és baixa i per poder fer front a un dia de condicions meteorològiques desfavorables.

Finalment, s'instal·larà el PV35-10K de Must Solar, que farà la funció d'inversor i regulador de càrrega, a més de protegir el sistema i permetre la monitorització i control de tots els elements que formen el sistema.

7.2. Càlcul de pèrdues

En qualsevol xarxa de subministrament elèctric i sistemes associats, cal tenir en compte l'efecte de les pèrdues sobre la quantitat d'energia subministrada. En aquest cas caldrà tenir en compte les pèrdues degudes al sistema de captació, a la xarxa de distribució, a l'inversor de corrent i a les característiques específiques de tots els elements que intervenen en el procés:

- **Sistema de captació:** entre les principals pèrdues en el sistema de captació hi ha les de caràcter variable, que inclouen factor solar i la temperatura i d'altres que es poden aproximar a un valor constant, com la eficiència de les cèl·lules fotovoltaïques. Aquesta última ve donada pel fabricant i és del 92% als 10 anys d'ús. A més, es considerarà un percentatge de pèrdues constant degut a la brutícia que es pugui acumular sobre la superfície d'un 2%. Les pèrdues degudes a les condicions meteorològiques, a la temperatura i a l'ombra dels elements del terreny estan incloses en el càlcul d'energia obtinguda amb la calculadora solar de PVGIS.
- **Inversor-regulador:** segons les característiques tècniques de l'equipament escollit, s'estimen unes pèrdues del 12% per l'inversor i del 2% del regulador.
- **Xarxa de distribució:** en els cables que transporten el corrent entre els diferents elements del sistema s'hi produeixen pèrdues que depenen de la longitud i la secció. Com que la disposició exacta de les càrregues i la resta d'elements està subjecta a variacions, es considerarà una pèrdua constant de 2%, tal i com indica l'IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).
- **Bateries:** les pèrdues degudes a l'emmagatzematge d'energia en les bateries es consideraran constants i del 10%, ja que no es disposa d'informació exacta de la seva eficiència.

El rendiment global del sistema resulta de multiplicar cadascun dels rendiments dels

components que el formen. Tenint en compte els rendiments i pèrdues descrits, s'estima que el rendiment mitjà del sistema és del 68,6%. Aquests valors es resumeixen en la taula següent:

Sistema	Rendiment	Pèrdues
Captació	90,2%	9,8%
Inversor-regulador	86,2%	13,8%
Xarxa distribució	98,0%	2,0%
Bateries	90,0%	10,0%
TOTAL	68,6%	31,4%

Taula 7-1. Rendiment i pèrdues dels components del sistema

La Taula 7-2 mostra l'energia que podrà subministrar el sistema tenint en compte les pèrdues. S'observa que l'energia que s'espera obtenir durant el mes de juliol, tot i ser la més alta, queda lleugerament per sota de la demanda energètica diària. Tenint en compte que s'han considerat els percentatges de pèrdues més desfavorables i un ús generós de les instal·lacions, s'estima que promovent l'estalvi energètic entre els participants del *Smart Moto Challenge*, aquesta petita diferència no causarà problemes i es podran cobrir les necessitats energètiques.

Mes	Energia bruta [kWh/dia]	Pèrdues [kWh/dia]	Energia neta [kWh/dia]
Gener	22,7	7,1	15,6
Febrer	29,8	9,4	20,5
Març	39,2	12,3	26,9
Abril	43,7	13,7	30,0
Maig	50,9	16,0	34,9
Juny	55,3	17,4	37,9
Juliol	56,1	17,6	38,5
Agost	50,1	15,7	34,3
Setembre	41,0	12,9	28,1
Octubre	31,7	10,0	21,8
Novembre	24,1	7,6	16,5
Desembre	20,6	6,5	14,1

Taula 7-2. Energia diària neta subministrada pel sistema solució

7.3. Planificació de la implementació

El projecte es pot dividir en tres fases que es realitzen una després de l'altra. En primer lloc, hi ha la fase de disseny, on s'estudiarà el problema a resoldre i es farà una recerca de la informació rellevant per a poder dissenyar una solució adequada que posteriorment es recollirà en una memòria juntament amb els càlculs pertinents. Aquesta fase té una durada d'aproximadament tres mesos i mig.

La segona fase és la de construcció, que engloba l'adquisició de tots els components necessaris del sistema, l'adequació de la carpa prefabricada per adaptar-la a l'estructura desitjada i el muntatge i instal·lació de tots els components amb les comprovacions pertinents.

La tercera fase és la d'implantació i correspon a la vida útil del sistema un cop ja està en ús. Aquesta fase s'estima que tindrà una durada de 10 anys, amb un ús intermitent del sistema, ja que la seva funció es temporal i inclourà un seguit de muntatges, usos i desmuntatges. Durant tota aquesta fase es recomana fer un manteniment preventiu de tots els components de la instal·lació a més dels manteniments correctius quan es produeixin avaries.

A la Figura 7-2 es pot observar el diagrama de Gantt per les dues primeres fases, que mostra les diferents etapes de les quals es compon cada fase i l'espai que ocupen en el temps que dura el projecte. Algunes de les etapes es duen a terme simultàniament i no totes tenen la mateixa intensitat durant cada setmana, ja que depenen de les necessitats i l'evolució del projecte.

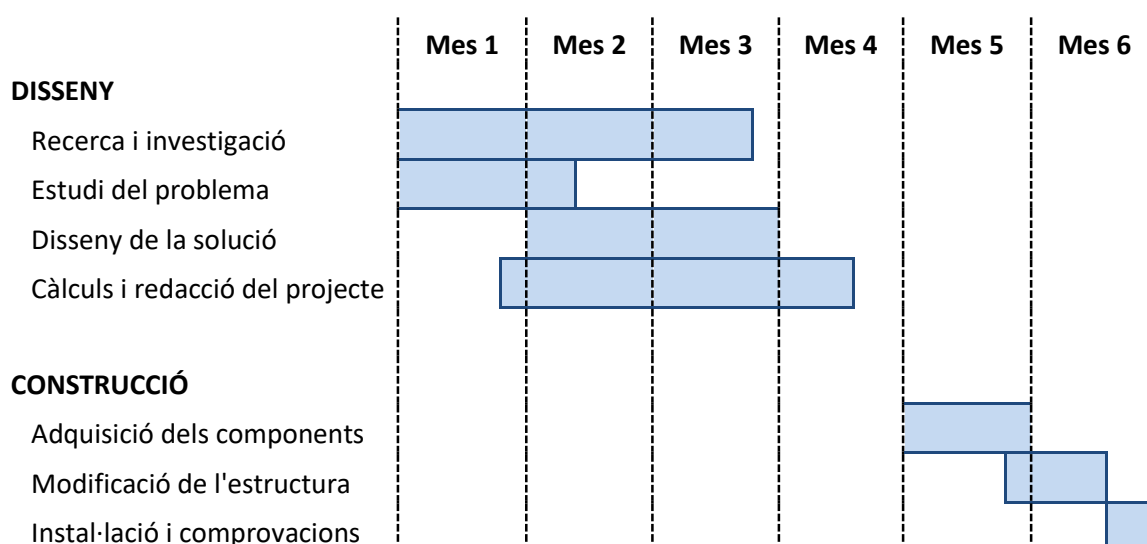


Figura 7-2. Diagrama de Gantt de les primeres dues fases del projecte

Cada franja vertical correspon a un mes diferent, però no s'han detallat els mesos exactes en els quals té lloc el projecte ja que aquests podrien ser qualsevols. La fase de disseny s'ha dut a terme entre els mesos d'octubre de 2018 i gener de 2019, però la fase de construcció no ha de ser necessàriament durant els dos mesos següents, sinó que pot ser posposada, però s'ha de preveure un període. La fase d'implementació pot iniciar-se un cop hagi finalitzat la segona fase, i durarà fins que la instal·lació arribi a la fi de la seva vida útil, que s'estima de 10 anys, tot i que si es reemplacen alguns dels components quan sigui necessari, aquesta es podria allargar fins a uns 25 anys, que és també la vida útil dels mòduls fotovoltaïcs.

8. Impacte ambiental

8.1.1. Reducció de la petjada ambiental en energia

La producció d'energia és una de les principals responsables de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, que contribueixen a expandir el forat de la capa d'ozó i conseqüentment al canvi climàtic. Entre aquests gasos hi destaca el diòxid de carboni, que en representa aproximadament tres quartes parts dels gasos emesos a nivell mundial. Altres gasos provinents de la generació d'energia són el SO₂ o els NO_x. Per aquests últims, existeixen mètodes per neutralitzar-ne les emissions però per eliminar el CO₂, és necessari canviar a mètodes de producció d'energia que no es basin en la combustió de combustibles fòssils.

Segons l'Institut Català de l'Energia s'estima que per generar 1 kWh d'electricitat mitjançant gasoil, s'emeten a l'atmosfera 0,287 kg de CO₂. En la taula següent es fa una comparació entre l'impacte ambiental que té el sistema proposat respecte el sistema tradicional d'alimentació amb combustibles fòssils:

Mes	Dies d'ús	Energia neta [kWh/dia]	Energia neta [kWh/mes]	Combustible estalviat [l]	Emissions CO2 estalviades [kg]
Gener	2	15,6	31,2	74,9	8,9
Febrer	2	20,5	40,9	74,9	11,7
Març	6	26,9	161,3	224,7	46,3
Abril	8	30,0	240,0	299,6	68,9
Maig	16	34,9	558,4	599,2	160,3
Juny	22	37,9	834,7	823,9	239,6
Juliol	22	38,5	846,4	823,9	242,9
Agost	22	34,3	755,2	823,9	216,8
Setembre	16	28,1	449,5	599,2	129,0
Octubre	8	21,8	174,2	299,6	50,0
Novembre	2	16,5	33,0	74,9	9,5
Desembre	2	14,1	28,2	74,9	8,1
Total anual	128	319,1	4.153,0	4.793,6	1.191,9

Taula 8-1. Consum de combustible i emissions de CO₂ estalviats

A l'edició anterior del *Smart Moto Challenge* es va utilitzar un motor de gasoil per alimentar les càrregues, amb un consum mitjà de 37,5 l/dia. De manera aproximada, es calcula que el

consum va ser molt més reduït intencionadament, ja que l'energia disponible era limitada. S'observa a la Taula 8-1 que al llarg d'un any d'ús del sistema, s'arriben a estalviar de manera aproximada 4.793 kg de combustible i 1.192 kg de CO₂ emesos anualment.

8.1.2. Anàlisi del Cicle de Vida

L'anàlisi del cicle de vida és un mètode utilitzat per determinar l'impacte ambiental d'un producte tenint en compte tot el seu cicle de vida, des de la seva creació fins al reciclatge dels seus components un cop arribat a la fi de la seva vida útil (en anglès "Craddle To Grave"), tenint en compte també l'impacte del transport, manufactura, ús i desmantellament. Segons a qui estigui destinat aquest anàlisi, es pot tenir en compte només una porció de la vida útil, com per exemple si es vol conèixer l'impacte ambiental únicament de la fabricació del producte, es contabilitzen només l'empremta fins a la sortida de la fàbrica (conegut en anglès com a "Craddle To Gate"). També pot ser interessant saber només l'impacte que genera el producte un cop està en ús fins al final de la seva vida útil ("Gate To Grave") o comparar quin tram del seu cicle de vida genera un major impacte ambiental.

La realització detallada de l'anàlisi del cicle de vida és extremadament important per a les indústries manufactureres, ja que els permet detectar quins són els principals aspectes de l'impacte ambiental generat pels seus productes i millorar-los per tal de contribuir positivament a la preservació del medi ambient. Un estudi d'aquestes característiques és complicat de fer si no és té tota la informació necessària i resulta poc útil si no es fa en detall o no es pot influir de cap manera a una millora de l'empremta ecològica del producte.

En aquest projecte es crea una instal·lació a partir de productes existents en el mercat. Les etapes del cicle de vida que corresponen al projecte inclouen el transport dels components del sistema, l'ús i la gestió de residus. Pel que fa al transport, s'han buscat components subministrats per proveïdors locals, reduint les distàncies i conseqüentment les emissions de diòxid de carboni produïdes pels mitjans de transport. Durant l'ús de la instal·lació, l'impacte ambiental es pot considerar nul, ja que l'energia solar no genera emissions contaminants.

Els propietaris de residus de qualsevol tipus tenen l'obligació de desfer-se'n segons les lleis establertes i són responsables de l'impacte ambiental que generen. Els mòduls fotovoltaïcs que ja no són útils han de ser tractats per una empresa especialitzada, ja que si es reciclen convenientment, la major part dels components es poden reutilitzar, incloent el vidre, materials semiconductor i altres materials fèrrics i no fèrrics. Quan les bateries arriben al final de la seva vida útil cal descarregar-les i separar-ne els components per poder reciclar-los. És important evitar la pèrdua de metalls pesants i elements tòxics que poden contaminar el terra i l'aigua, i si es possible, reutilitzar els metalls rars, ja que els recursos en són limitats. Els materials

residus electrònics també han de ser separats correctament per poder ser reciclats, vigilant amb les substàncies tòxiques. Els residus generats de cartró, plàstic i altres materials generats a cause de l'embalatge dels diferents components del sistema s'han de gestionar adequadament seguint la directiva europea 94/62/EC.

L'empresa que fabrica els panells fotovoltaics, Uni-Solar, és membre d'una associació sense ànim de lucre anomenada PV Cycle que promou la recollida i reciclatge responsables de les cèl·lules fotovoltaïques i la protecció del medi ambient, fomentant un major ús de les tecnologies fotovoltaïques sense oblidar la sostenibilitat. Aquesta associació proporciona un servei de gestió de residus relacionats amb les instal·lacions fotovoltaïques, amb oferint consultoria, desmantellament d'instal·lacions i recollida i tractament de residus.

Tot i que PV Cycle es va fundar tenint en ment els panells fotovoltaics, amb el temps la gamma de productes que gestionen inclou també els components electrònics, bateries, residus industrials i embalatges que formen part de tots els sistemes fotovoltaics. El fet de que sigui una única companyia qui s'encarrega del desmantellament i la recollida dels residus d'una instal·lació facilita el reciclatge de tots els components, de manera que es redueix l'impacte ambiental global de la instal·lació.

9. Estudi econòmic

9.1. Pressupost

La Taula 9-1 és un resum del cost de material que suposa la implantació del sistema en una carpa. Aquest inclou tots els components necessaris per l'obtenció d'energia solar i la infraestructura en que s'instal·larà, és a dir, per una banda els mòduls fotovoltaïcs, bateries, inversor, regulador de càrrega i els components elèctrics necessaris (cablejat, preses de corrent, interruptors de tall...); i per l'altra banda, la carpa i el material de construcció necessari per adaptar-la a l'estructura desitjada.

	Unitats	Cost unitari [€/u]	Cost total [€]
COMPONENTS DEL SISTEMA SOLAR			
Mòduls fotovoltaïcs	54	180	9.720
Carpa 8x12 m	1	2.575	2.575
Bateries Nissan Leaf	2	200	400
Inversor - regulador	1	1.815	1.815
Components elèctrics	1	300	300
Material de construcció	1	300	300
TOTAL			15.110

Taula 9-1. Costos materials del projecte

Alguns d'aquests costs són una estimació i podrien variar en funció dels components elèctrics o el material de construcció que s'esculli. Els costos de la Taula 9-1 no tenen en compte el mobiliari i la cuina, ja que tot i haver-se tingut en compte com a càrrega pel càlcul de la demanda energètica, la seva instal·lació no forma part de l'abast del projecte.

Un altre tipus de cost a considerar en tot projecte són els costos de personal en cadascuna de les fases del projecte, on es tenen en compte totes les hores invertides en cada tasca desenvolupada. En la fase de disseny s'han comptabilitzat un total de 325 h de treball i 45 h durant l'etapa de construcció, per les quals es considera un cost unitari de 15 €/h com a referència.

Per la fase d'explotació s'ha suposat que per cada vegada que es munta o desmunta el sistema són necessàries 10 h de treball, que poden equivaldre a dos operaris durant 4,5 h o a tres durant 3,3 h, per exemple. Això suposa un cost aproximat de 150€ cada vegada que cal muntar o desmuntar el sistema. Cal remarcar però, que aquest cost també existiria si s'hagués de muntar la carpa independentment de l'existència del sistema de captació d'energia fotovoltaïca.

Es partirà de la suposició que entre els mesos de maig i setembre el sistema quedarà instal·lat a la zona d'acampada, sota la vigilància del Parcmotor. Durant la resta de l'any s'estima que es muntarà sota demanda un total de 3 vegades més. A aquests costos se l'hi afegiran 15 h de manteniment anual, que suposaran un cost addicional de 225 €. Suposant que la vida útil del sistema és de deu anys, s'acumularan 400 h de muntatge, 400 h de desmuntatge i 150 h de manteniment.

La Taula 9-2 resumeix els costos immaterials descrits per la totalitat del projecte, que tindrà una durada mínima de 10 anys:

	Temps [h]	Cost [€/h]	Cost total [€]
DISSENY			4.875
Recerca i investigació	100	15	1.500
Estudi del problema	50	15	750
Disseny de la solució	75	15	1.125
Càlculs i redacció del projecte	100	15	1.500
CONSTRUCCIÓ			675
Adquisició dels components	5	15	75
Modificació de l'estructura	25	15	375
Instal·lació i comprovacions	15	15	225
EXPLOTACIÓ			14.250
Muntatge	400	15	6.000
Ús		0	0
Desmuntatge	400	15	6.000
Manteniment	150	15	2.250
TOTAL			34.725

Taula 9-2. Costos immaterials per cada fase del projecte

La totalitat dels costos del projecte serà de 49.835 €. A l'apartat següent s'estudiarà com estan repartits aquests costos durant la vida útil de la instal·lació, com es cobriran aquests costos i si el projecte serà rendible.

Per fer una breu comparació del cost d'aquest projecte amb els sistemes tradicionals on s'obté l'energia d'un grup electrogen alimentat amb gasoil similar al que s'ha utilitzat en edicions anteriors del *Smart Moto Challenge*, s'ha calculat que el cost aproximat anual d'aquests és d'11.000 €. Per al càlcul s'ha tingut en compte el lloguer d'un generador de gasolina trifàsic de 8 kW que consumeix 37,5 litres diaris durant 100 dies, amb un cost de 50 €/dia de lloguer i 1,5 €/L de combustible.

Fàcilment es pot observar com al llarg de 10 anys, els costos d'explotació d'un sistema amb combustibles fòssils és molt superior al cost del sistema amb energia solar, que tot i suposar una gran inversió inicial, és també un sistema avantatjós en termes econòmics i ambientals. A més, el fet de que el sol sigui una font d'energia gratuïta fa que, si les condicions atmosfèriques són favorables i la capacitat de les bateries adequada, es redueixin significativament les limitacions de la demanda energètica.

9.2. Rendibilitat del projecte

En aquest apartat s'estudia la implantació del sistema com a negoci, per a determinar-ne la viabilitat econòmica. Les despeses generades durant el projecte ja han estat descrites a l'apartat anterior. Aquestes despeses es cobriran gràcies a una quota que pagaran els usuaris de la instal·lació pel servei ofert. Per tal de promoure l'ús d'aquest sistema, cal oferir un preu competitiu que a més a més generi els ingressos suficients per cobrir les despeses, amb la possibilitat de generar beneficis.

Fent un càlcul simple de les despeses d'un dia d'ús d'una carpa de característiques similars a la del projecte alimentada amb un grup electrogen de gasoil, s'obté que el cost de lloguer total és de com a mínim 300 € diaris. Suposant que la carpa d'aquest projecte es lloga estipulant una quota fixa per grups de 40 persones a un preu de 3 €/persona diaris, els ingressos quan la instal·lació estigui en ús seran de 120 €/dia. A aquest preu se li podria afegir un suplement que cobreixi el cost del mobiliari, la cuina i els serveis, que no es tindran en compte ja que queden fora de l'abast d'aquest projecte.

Els paràmetres més utilitzats a l'hora de calcular la viabilitat d'un projecte són el VAN (Valor Actual Net) i el TIR (Taxa Interna de Retorn). Per a poder calcular-los, cal fer un balanç dels ingressos i les despeses del projecte repartits al llarg de la vida útil del projecte, d'on s'obté el flux de caixa. La Taula 9-3 mostra el balanç econòmic d'aquest projecte suposant els ingressos i despeses detallats anteriorment.

	Any 0	Any 1	Any 2	Any 3	Any 4	Any 5	Any 6	Any 7	Any 8	Any 9	Any 10
Despeses	20.660	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425
Disseny	4.875										
Material	15.110										
Construcció	675										
Muntatge/Desmuntatge		1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Manteniment		225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
Ingressos	0	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600
Quota d'ús		9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600
Flux de caixa	-20.660	8.175	8.175	8.175	8.175	8.175	8.175	8.175	8.175	8.175	8.175
Flux de caixa acumulat	-20.660	-12.485	-4.310	3.865	12.040	20.215	28.390	36.565	44.740	52.915	61.090

Taula 9-3. Balanç econòmic del projecte

Es pot observar que la inversió inicial necessària per poder dur a terme el projecte és de 20.660 €. El període de retorn, temps en el qual s'hauran obtingut ingressos suficients per cobrir la inversió inicial, està entre els dos i tres anys, que un valor adequat tenint en compte que la vida útil del sistema és de 10 anys. Això vol dir que a partir del 3 any el projecte començarà a tenir beneficis.

El VAN indica la rendibilitat del projecte comparant-lo amb el fet de realitzar una inversió segura amb un cert tipus d'interès, que en aquest cas s'ha considerat del 10%. Aquest projecte té un VAN de 29.572 €, un valor positiu que indica que la realització del projecte és més beneficiosa econòmicament que realitzar una inversió amb un 10% de beneficis. De fet, la taxa interna de retorn del projecte és del 38%, molt per sobre de la taxa d'interès considerada. Conseqüentment, es pot afirmar que el projecte és econòmicament viable.

Conclusions

El consum energètic ha augmentat exponencialment durant els últims anys, i entre les fonts d'energia primària hi dominen encara els combustibles fòssils, degut al recent accés a l'energia dels països emergents. Les energies renovables s'obren camí amb una intensitat cada cop més gran gràcies a la recerca destinada a millorar la eficiència de les diferents tecnologies tot reduint-ne el cost, de manera que avui en dia algunes ja presenten característiques competitives que les situen en millor posició que equivalents fòssils. És necessari dedicar temps a reflexionar sobre el model energètic actual i plantejar-se la possibilitat real de substituir els sistemes d'obtenció d'energia actuals per altres mitjans més nets i sostenibles, que permetin alleujar el canvi climàtic.

És el cas de l'energia fotovoltaica, que en els últims anys ha vist una reducció molt important en els seus costos. Aquest projecte concret d'ús d'energies renovables en una aplicació comú, permet demostrar que la transició energètica cap a l'ús d'energies netes és possible a escala domèstica. Tot i que a priori l'ús de les energies renovables sembli suposar un cost econòmic excessiu en comparació amb els sistemes tradicionals alimentats amb combustibles fòssils, a la llarga els avantatges que suposen són significants.

Cal valorar també la importància d'informar-se bé de totes les possibilitats que estan a l'abast per a poder escollir adequadament els components del sistema que permetran aprofitar al màxim els recursos dels que es disposa. A la vegada, també és imprescindible realitzar una comparació entre diferents propostes, ja que poden donar pas a solucions més eficients. Concretament, l'estudi de les diferents possibilitats estructurals han fet que la simple modificació de l'angle de la coberta permeti augmentar significativament l'energia global obtinguda pel sistema.

Aquest projecte contribueix positivament a la sostenibilitat de les instal·lacions del circuit de Castellolí. A nivell econòmic, la solució proposada en aquest treball ha resultat ser més assequible a llarg termini que una instal·lació amb generació d'energia a base de combustibles fòssils, sempre i quan el Parcmotor posi a disposició dels usuaris els serveis del projecte i contribueixi a l'explotació del sistema de la manera descrita. A nivell ambiental, permet una reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle i del consum de combustibles fòssils. A nivell social, promou l'ús de les energies renovables entre professionals i aficionats a l'automoció, un sector generalment força contaminant, i millora la imatge que dona el Parcmotor de cara al públic.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] European Commission Joint Research Center (JRC), *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*, [En línia: <http://re.jrc.ec.europa.eu/>] (Data de consulta: 25/11/2018)
- [2] BP, *Statistical Review of World Energy 2018*, [En línia: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>] (Data de consulta: 27/10/2018)
- [3] H. RITCHIE - M. ROSER, *Energy Production & Changing Energy Sources - Our World in Data 2018*, [En línia: <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>] (Data de consulta: 27/10/2018)
- [4] IRENA, *Renewable Energy Technologies 2018*. [En línia: <http://resourceirena.irena.org/>] (Data de consulta: 29/10/2018)

Bibliografia complementària

Sobre l'estat de l'art de les energies renovables:

- Energy Sage, *Thin film solar panels*, [En línia: <https://news.energysage.com/thin-film-solar-panels-make-sense/>] (Data de consulta: 23/10/2018)
- ICAEN, *Taula d'impuls a l'autoconsum fotovoltaic a Catalunya*, [En línia: <http://icaen.gencat.cat/ca/energia/autoconsum/taula-dimpuls-a-lautoconsum-fotovoltaic-a-catalunya/>] (Data de consulta: 05/11/2018)

Sobre tecnologies solars fotovoltaiques:

- PV THIN, *Thin Film PV*, [En línia: <http://pvthin.org/technology>] (Data de consulta: 09/11/2018)
- PV CYCLE, *PV System Waste*, [En línia: <http://www.pvcycle.org>] (Data de consulta: 05/01/2019)
- SOLAR WASTE, *European WEEE directive*, [En línia: <http://www.solarwaste.eu>] (Data de consulta: 05/01/2019)